



**DETERMINAÇÃO DOS PRINCIPAIS PROCEDIMENTOS QUE SE
DEVEM SER ADOTADOS NA EXECUÇÃO DE UM PISO/PAVIMENTO
DE CONCRETO COM O PROPÓSITO DE SE PREVENIR A
OCORRÊNCIA DAS FISSURAÇÕES**

SÃO PAULO

2017



JOSÉ ROBERTO HORTÊNCIO ROMERO

RENATO SOLERA PILEGGI

**DETERMINAÇÃO DOS PRINCIPAIS PROCEDIMENTOS QUE SE
DEVEM SER ADOTADOS NA EXECUÇÃO DE UM PISO/PAVIMENTO
DE CONCRETO COM O PROPÓSITO DE SE PREVENIR A
OCORRÊNCIA DAS FISSURAS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Pós-Graduação em Patologia das Obras Cíveis, Pós-Graduação *lato sensu*, do Instituto IDD como requisito parcial para a obtenção do Grau de Especialista em Patologia nas Obras Cíveis.

Orientador: Prof. Msc. Luís César De Luca.

SÃO PAULO
2017

AGRADECIMENTOS

Ao engenheiro civil prof. Msc. De Luca pela colaboração na orientação deste trabalho.

A André Tadeu Moreno Figueiró e Ricardo Tadeu Pinto Faria do Instituto IDD pelo apoio e orientação neste trabalho.

Em nome do prof. Selmo Soares, agradecemos ao corpo docente do Instituto IDD.

Aos funcionários da Neomix Concreto Ribeirão Preto e Emparsanco-Neomix I – II pela valiosa colaboração, em especial aos engenheiros José Mário Zanato e Natália Barduchi Ribeiro.

À empresa Peracini Pisos pela disponibilidade em participação em obras.

À UNIP - Universidade Paulista - campus Ribeirão Preto através do prof. Msc. Fernando Brant, pela cessão do material bibliográfico.

Às nossas famílias que participaram apoiando e também pela compreensão das horas/dias ausentes.

À Leila, Roberto e Arthur pelo incentivo e carinho.

À minha família (irmãos, cunhado (a)s e sobrinhos) por acreditarem que um dia seria possível esta conquista, e em memória de meus pais Sebastião e Irma, que estão hoje na companhia de Deus.

“A vitória completa é alcançada quando o exército não luta, a cidade não é sitiada, a destruição não se prolonga por muito tempo e em cada caso o inimigo é vencido graças à estratégia”.

(Sun Tzu)

FOLHA DE APROVAÇÃO

DETERMINAÇÃO DOS PRINCIPAIS PROCEDIMENTOS QUE SE DEVEM SER ADOTADOS NA EXECUÇÃO DE UM PISO/PAVIMENTO DE CONCRETO COM O PROPÓSITO DE SE PREVENIR A OCORRÊNCIA DAS FISSURAS

Por

JOSÉ ROBERTO HORTÊNCIO ROMERO

RENATO SOLERA PILEGGI

TRABALHO APROVADO COMO REQUISITO PARCIAL PARA A
OBTENÇÃO DO TÍTULO DE ESPECIALISTA EM PATOLOGIA NAS
OBRAS CIVIS, DO INSTITUTO IDD, PELA COMISSÃO FORMADA PELOS
PROFESSORES A SEGUIR MENCIONADOS.

São Paulo (SP) ____ de ____ de ____.

André Tadeu Moreno Figueiró, Esp.

Carla Castro de Paula, Esp.

Ricardo Tadeu Pinto Faria, Esp.

RESUMO

No início, o dimensionamento dos pisos e pavimentos de concreto era baseado em critérios e métodos de execução rudimentares que acarretavam em altos custos e baixa durabilidade. Assim, em pouco tempo, surgiam manifestações patológicas, as quais implicam na perda da produtividade das fábricas, comércios e rodovias. Com o aumento da produção industrial e a exigência da implementação das normas de segurança do trabalho, novos materiais, técnicas e tecnologias passaram a ser utilizadas, diminuindo a ocorrência dessas manifestações. Este trabalho teve como objetivo a determinação dos principais procedimentos de execução dos pisos/pavimentos de concreto para evitar a manifestação patológica fissuração. Para isso, fez-se uma extensa revisão bibliográfica sobre o assunto, definindo pisos/pavimentos de concreto e quais suas finalidades e utilizações, apresentando a classificação dos tipos de pisos de concreto, as suas etapas executivas, e as principais manifestações patológicas com ênfase na fissuração, destacando suas causas e medidas preventivas a serem adotadas. Ao final, foram feitas sugestões para trabalhos futuros nessa área de pesquisa.

Palavras chave: pisos e pavimentos de concreto, manifestações patológicas, fissuração, procedimentos de execução de pisos/ pavimentos de concreto, medidas preventivas.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1. Valores da resistência do concreto conforme o <i>slump</i> (SOARES, 2017).	24
Figura 2. Ação do aditivo redutor de água (SOARES, 2017).	26
Figura 3. Componentes dos sistemas construtivos dos pisos de concreto (CRISTELLI, 2010).	30
Figura 4. Piso de concreto sem armadura (TECNIKA, 2017).	32
Figura 5. Piso de concreto armado (ROMERO, 2016).	33
Figura 6. Concreto com fibras metálicas (ENGENHARIA, 2017).	33
Figura 7. Concreto com fibras sintéticas (GRANATO, 2014).	34
Figura 8. Piso de concreto protendido (AEAJS, 2017).	34
Figura 9. Fissura no concreto por retração (GRANATO, 2014).	37
Figura 10. Esborcinamento de juntas em piso de concreto (CHODOUNSKY, 2010).	37
Figura 11. Desgaste por abrasão em piso de concreto (ROMERO, 2016).	38
Figura 12. Manifestação patológica relacionada à umidade ascendente em piso de concreto (CHODOUNSKY, 2010).	38
Figura 13. Empenamento de bordas em piso de concreto (CHODOUNSKY, 2010).	39
Figura 14. Delaminação em piso de concreto (CHODOUNSKY, 2010).	39
Figura 15. Ocorrência de borrachudo em piso de concreto (CHODOUNSKY, 2010).	40
Figura 16. Causas da fissuração do concreto a partir da concretagem (GRANATO, 2014).	41
Figura 17. Tipos de fissuras nas estruturas de concreto (GRANATO, 2014).	43
Figura 18. Fissuração tipicamente causada por retração plástica em um concreto recém-lançado em uma laje (ABCP, 2003).	47
Figura 19. Fissuras de retração por secagem (ANAPRE, 2016).	49
Figura 20. Ação da ocorrência da carbonatação (ANAPRE, 2016).	51

Figura 21. Fissuração por contração e retração térmica (GRANATO, 2014).....	51
Figura 22. Microfissuras tipo “pé de galinha” em piso de concreto (LPE, 2017).	52
Figura 23. Excesso de água na superfície durante acabamento (GRANATO, 2014).....	53
Figura 24. Ábaco de influência ambiental sobre a evaporação da água do concreto (CÁNOVAS, 1988).	55
Figura 25. Medida da temperatura do concreto a laser (SILVA E BATTAGIN, 2011).....	56
Figura 26. Fluxograma de informações para elaboração dos pisos industriais (CHODOUNSKY, 2007).	61
Figura 27. Preparação de subleito (ROMERO, 2016).....	63
Figura 28. Sub-base de concreto (ROMERO, 2016).....	64
Figura 29. Trânsito de operário sobre a armadura (GRANATO, 2014).	66
Figura 30. Equipamento do tipo Laser Screed (AQUARIUS TECH, 2017).	68
Figura 31. Acabadoras de superfície dupla e simples (ROMERO, 2016).	70
Figura 32. Desempeno superficial (ROMERO, 2016).	71
Figura 33. Componentes do piso (ABECE, 2017).	82

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Tabela de correção de <i>slump</i> por evaporação (ROMERO <i>et al.</i> , 2012)	25
Tabela 2. Classificação do sistema de pisos de concreto segundo as escolas: americana e europeia (ANAPRE, 2009).	31
Tabela 3. Causas da fissuração do concreto no estado fresco e endurecido (CARMONA & HELENE <i>apud</i> FILHO & CARMONA, 2013).	44
Tabela 4. Ambientes de agressividade (NBR 6118, 2003).	83
Tabela 5. Cobertura mínima da armadura (NBR 6118, 2003).	83

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Probabilidade de fissuração em concreto em pasta de quatro diferentes cimentos Portland (ABCP, 1999).....	57
Gráfico 2. Incidência das manifestações patológicas no concreto no Brasil (PIANCASTELLI, 1997).	58
Gráfico 3. Custo relativo da intervenção (HELENE, 1997).....	59
Gráfico 4. Influência da relação água/cimento e idade de cura úmida sobre a resistência do concreto (MEHTA E MONTEIRO, 2008).....	72
Gráfico 5. Influência das condições de cura sobre a resistência do concreto (MEHTA E MONTEIRO, 2008).....	73
Gráfico 6. Concretos moldados e curados a uma temperatura constante específica (MEHTA E MONTEIRO, 2008).....	76
Gráfico 7. Diferentes tempos e temperaturas de moldagem e cura (MEHTA E MONTEIRO, 2008).....	77
Gráfico 8. Efeito da temperatura da cura na resistência do concreto (MEHTA E MONTEIRO, 2008).....	78

LISTA DE EQUAÇÕES

(1) Equação para determinação da temperatura do concreto fresco.....	48
(2) Equação para determinação da taxa de evaporação.....	54
(3) Equação para determinação da resistência à compressão, segundo ACI Committee 209	73
(4) Equação para determinação da resistência à compressão em corpos-de-prova curados a 20°C	73

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

AASHTO	American Association of State Highway Transportation Officials
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ACI	American Concrete Institute
ANAPRE	Associação Nacional de Pisos e Revestimentos Alto Desempenho
ASTM	American Society for Testing and Materials
BGS	Brita Graduada Simples
BGTC	Brita Graduada Tratada com Cimento
Ca(OH)_2	Hidróxido de cálcio
CaCO_3	Carbonato de cálcio
CBR	California Bearing Ratio
CEB	Comité Euro-International du Béton
CP I	Cimento Portland comum
CP II	Cimento Portland composto
CP III	Cimento Portland de alto-forno
CP IV	Cimento Portland pozolânico
CP V	Cimento Portland de alta resistência inicial
CR	Concreto Rolado
CsH	Hidreto de cério
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
fck	Resistência característica à compressão do concreto
FIP	Fédération Internationale de la Précontrainte

HRB	Highway Research Board
JC	Junta Longitudinal de Construção
JD	Junta de Dilatação
JE	Junta de Expansão
JS	Junta Serrada
k	Coeficiente de recalque
MPa	Megapascal
MR	Módulo de Resiliência
NBR	Norma Brasileira
PCA	Portland Cement Association
RAD	Revestimento de Alto Desempenho
RCD	Resíduos de Construção e de Demolição
SC	Solo Cimento
SMC	Solo Melhorado com Cimento
SPT	Standard Penetration Test

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS.....	2
FOLHA DE APROVAÇÃO	4
RESUMO	5
LISTA DE ILUSTRAÇÕES.....	6
LISTA DE TABELAS.....	8
LISTA DE GRÁFICOS	9
LISTA DE EQUAÇÕES.....	10
LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS	11
SUMÁRIO.....	13
1. INTRODUÇÃO	16
1.1. PROBLEMA DE PESQUISA.....	17
1.2. OBJETIVOS.....	17
1.2.1. Objetivo Geral	17
1.2.2. Objetivos Específicos	18
1.3. JUSTIFICATIVAS	18
1.3.1. Tecnológicas.....	18
1.3.2. Econômicas	18
1.3.3. Seguranças.....	19
1.3.4. Ecológicas	19
1.4. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	19
1.5. APRESENTAÇÃO DO TRABALHO.....	20
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	21
2.1. CONCRETO – CONCEITOS	21
2.1.1. Componentes do concreto	22
2.1.2. Propriedades do concreto endurecido	26
2.2. PISOS/PAVIMENTOS DE CONCRETO	28
2.2.1. Definição de pisos industriais	28
2.2.2. Composição dos pisos de concreto.....	29

2.3. TIPOS DE PISOS/PAVIMENTOS DE CONCRETO.....	30
2.3.1. Classificação quanto à escola.....	31
2.3.2. Classificação quanto ao reforço estrutural	32
2.3.3. Definição das etapas executivas do piso industrial	34
2.4. MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS DOS PISOS DE CONCRETO ...	
.....	35
2.4.1. Tipos, causas de trincas e deslocamento (fissuras) do pavimento de concreto	36
2.4.2. Trincas e fissuras	40
2.4.3. Fissuração	42
2.5. INFLUÊNCIAS NAS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS (FISSURAÇÃO).....	53
2.5.1. Influência ambiental sobre a evaporação da água do concreto ..	53
2.5.2. Influência da resistência inicial	56
2.6. PROCESSOS CONSTRUTIVOS E MÉTODOS PREVENTIVOS.....	57
2.6.1. Medidas preventivas.....	58
2.6.2. Projeto	59
2.6.3. Análise do terreno de fundação, terraplenagem e compactação	62
2.6.4. Constituintes do concreto	65
2.6.5. Concretagem do piso	65
2.6.6. Mistura do concreto.....	65
2.6.7. Lançamento do concreto	66
2.6.8. Adensamento do concreto	67
2.6.9. Acabamento superficial.....	68
2.6.10. Cura do concreto	71
2.6.11. Cortes das juntas.....	78
2.6.12. Barras de transferência	82
3. CONSIDERAÇÕES FINAIS E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	84
3.1. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	84

3.2. RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	87
4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	89
5. ANEXO	93
5.1. <i>CHECK LIST</i> PARA EXECUÇÃO DE PISOS DE CONCRETO	93

1.INTRODUÇÃO

Pisos e pavimento de concreto são elementos estruturais que têm a finalidade de resistir e distribuir ao subleito (terreno de fundação preparado para receber o pavimento) esforços verticais provenientes dos carregamentos, gerados pelas máquinas, equipamentos, materiais estocados, pessoas, veículos, etc.

No início o dimensionamento de piso e pavimento de concreto era baseado em critérios e execução rudimentares que resultavam em pisos de concreto simples, com placas de pequenas dimensões e espessuras de tamanhos relativos. De certo modo esse método de execução apresentava altos custos e baixa durabilidade, pois logo aparecia o surgimento das manifestações patológicas, a qual implicava na perda da produtividade das fábricas e comércios e rodovias. A manifestação patológica apresentada nos pisos e pavimento de concreto acarreta perda de funcionalidade, uma vez que as mais variadas falhas observadas tendem a comprometer a operação de transporte cargas, pessoal e a resistência estrutural desse elemento, ocasionando pausa total ou parcial no funcionamento das empresas, e nas rodovias das concessionárias, para tratamento das fissuras, impactando diretamente na produção e gerando grandes prejuízos financeiros (CHODOUNSKY, 2010).

Chodounsky (2010) em seu artigo publicado relata a importância dos pisos de concreto, analisando o elevado custo de construção que se situa em torno de 15% a 35% da obra, o elevado custo de manutenção e reparos, além dos custos gerados pela paralisação parcial ou total da rodovia ou indústria. Norteados por tais vertentes desperta-se a necessidade de se pesquisar e adotar soluções que determinem resultados satisfatórios para a aplicação dos pisos de concreto.

Com a necessidade do aumento da produção industrial e a exigência da implementação das normas de segurança do trabalho, o setor de pavimentação industrial e rodoviário; requer atenção e investimentos, tornando-se primordial a

pesquisa de novas técnicas e soluções para eliminação ou redução das manifestações patológicas a fim de obterem-se pisos de maior resistência e durabilidade. Desta forma, novos materiais surgiram, novas técnicas e tecnologias passaram a ser utilizadas, desde adição de fibras metálicas e fibras sintéticas, à utilização de telas soldadas, aplicação da protensão, aplicação de armaduras simples ou duplas, dentre outras.

No presente trabalho de pesquisa será apresentado a sua execução, aplicação de novas técnicas e tecnologias aplicadas em busca de se eliminar ou reduzir as manifestações patológicas, em especial a fissuração, bem como os métodos de prevenção.

1.1. PROBLEMA DE PESQUISA

Quais os principais procedimentos que se devem ser adotados na execução de um piso/pavimento de concreto com o propósito de se prevenir a ocorrência das fissurações?

1.2. OBJETIVOS

Neste item apresentam-se os objetivos gerais e específicos da pesquisa desenvolvida.

1.2.1. Objetivo Geral

Determinar os principais procedimentos que se devem ser adotados na execução de um piso/pavimento de concreto com o propósito de se prevenir a ocorrência das fissurações.

1.2.2. Objetivos Específicos

Levantar e detalhar as medidas e soluções atuais que estão sendo adotadas na execução dos projetos de pavimento rígido com a finalidade de identificar os fatores causadores da manifestação patológica fissuração.

1.3. JUSTIFICATIVAS

Muito se fala, mas pouco se sabe sobre pisos de concreto, por isso pesquisar os fatores causadores das manifestações patológicas é muito importante. Conhecendo todo o processo é possível buscar soluções e medidas preventivas no âmbito de extingui-las, e também medidas reparadoras do pavimento. Para isso, é necessário conhecer a finalidade do empreendimento, considerando todos os aspectos envolvidos.

1.3.1. Tecnológicas

A evolução do processo construtivo vem proporcionando resultados satisfatórios, oferecendo aplicação de novos materiais, novos equipamentos. Portanto a relevância de conhecer todo o processo executivo e aplicar soluções que previnem ou até mesmo reparem a possível manifestação patológica.

1.3.2. Econômicas

Saber a aplicação do empreendimento é de fundamental importância, pois é necessário identificar todas as cargas provenientes da utilização, para projetar corretamente o pavimento, que seja capaz de resistir os esforços solicitados. Antigamente, o processo construtivo dos pisos era realizado de forma empírica, sendo executadas em pequenas placas e com grandes espessuras,

gerando altos custos, muitas vezes desnecessários. Sem o planejamento e os cálculos corretos, há grandes chances do surgimento das manifestações patológicas, o que acarreta em prejuízos gerados pela manutenção e a possível paralisação parcial ou total do empreendimento.

1.3.3. Seguranças

Por se tratar de pisos/pavimento de concreto e sabendo o fluxo da solicitação dessas estruturas é primordial a realização de um piso que ofereça um bom nivelamento, planicidade, resistência e durabilidade. Veículos pesados, leves, máquinas e equipamentos que trabalham com precisão, como, por exemplo, as empilhadeiras eletrônicas, que exigem bons índices de planicidade e nivelamento, pois por erros milimétricos podem ocasionar acidentes.

1.3.4. Ecológicas

As fissuras promovem deterioração da estrutura provocando a abertura de um caminho livre para percolação da água gerando a lixiviação do concreto (o cimento é dissolvido pela água e é carregado para fora da placa). Permitindo a penetração de agentes agressivos que contribuem para corrosão das armaduras e também contaminando o solo e lençóis freáticos.

1.4. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Segundo Gil (1999), uma pesquisa bibliográfica procura conhecer contribuições científicas sobre determinado fenômeno, sem os manipular e estabelecendo relações entre variáveis.

Este estudo é uma pesquisa bibliográfica que permitiu aos pesquisadores familiarizar-se com o problema.

O método apoiou-se em pesquisa científica com base em referencial teórico.

A pesquisa bibliográfica possibilitou ter acesso a material já publicado por autores renomados e, com isto, definir problemas já conhecidos ou explorar novas áreas de conhecimento (GIL, 1999).

1.5. APRESENTAÇÃO DO TRABALHO

Neste item, o conteúdo de cada capítulo do trabalho é apresentado resumidamente a seguir:

O **Capítulo 1** apresenta o problema de pesquisa e seus objetivos, bem como as principais justificativas para a realização deste estudo e os procedimentos metodológicos a serem adotados.

O **Capítulo 2** apresenta a revisão bibliográfica, onde será definido o que são pisos/pavimentos de concreto, quais suas finalidades e utilizações, classificação dos tipos de pisos de concreto, as etapas executivas dos pisos, principais manifestações patológicas com ênfase na fissuração, causas e medidas preventivas que é o objetivo específico da pesquisa.

O **Capítulo 3** apresenta as considerações finais acerca da pesquisa e as recomendações para trabalhos futuros.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo, apresenta-se a revisão bibliográfica sobre a execução de um piso/pavimento de concreto, bem como as causas e medidas preventivas da ocorrência de fissuração.

2.1. CONCRETO – CONCEITOS

Brunauer e Copeland *apud* Mehta e Monteiro (2008), dois cientistas no campo do cimento e concreto, escreveram:

O material de construção mais utilizado é o concreto, comumente composto da mistura de cimento Portland com areia, brita e água. No ano passado, nos Estados Unidos, 63 milhões de toneladas de cimento Portland foram convertidos em 500 milhões de toneladas de concreto, cinco vezes o consumo em peso do aço. Em muitos países, a proporção do consumo de concreto sobre o consumo de aço é de dez para um. O consumo mundial total de concreto no ano passado foi estimado em três bilhões de toneladas, ou seja, uma tonelada para cada ser humano vivo. Não há material mais consumido pelo homem em tamanha quantidade, com exceção da água.

Soares (2017) define o concreto como uma mistura de materiais formada por cimento, brita, areia, água e aditivos, onde o cimento reage quimicamente com a água obtendo-se um material artificial de elevada dureza e resistência.

Diferentemente da madeira e do aço comum, o concreto possui excelente resistência à água, enfrentando sua ação sem grave deterioração. Isso o torna um material ideal para construção de estruturas para controle, armazenamento e transporte de água. De fato, algumas das mais antigas aplicações conhecidas do material são aquedutos, cisternas e represas construídas pelos romanos. O uso de concreto para barragens, revestimento de canais e pavimentos é agora algo comum de se encontrar em quase todos os lugares no mundo (MEHTA E MONTEIRO, 2008).

Elementos estruturais, como estacas, fundações, sapatas, lajes, vigas, colunas, telhados, muros externos e tubos, são frequentemente executados com

concreto armado e protendido por ficarem expostos à umidade. Concreto armado é o concreto que normalmente contém barras de aço, que é projetado sob a premissa de que os dois materiais atuam juntos na resistência às forças de tração. No concreto protendido, por tensionamento de cordoalhas de aço, a pré-compressão é aplicada com os esforços de tensão neutralizados durante o serviço para evitar fissuração. Grandes quantidades de concreto são utilizadas em elementos estruturais armados ou protendidos (MEHTA E MONTEIRO, 2008).

Segundo Mehta e Monteiro (2008), o amplo uso do concreto se dá pela facilidade com a qual elementos estruturais de concreto podem ser obtidos através de uma variedade de formas e tamanhos. Por ter consistência plástica, o concreto fresco favorece o fluxo do material para o interior das fôrmas pré-fabricadas.

O baixo custo do concreto, normalmente, e a rápida disponibilidade do material para uma obra explicam sua popularidade entre os engenheiros. Os principais componentes para a produção do concreto – agregado, água e cimento Portland – são relativamente baratos e encontrados em todos os lugares do mundo. “Dependendo do custo de transporte de seus componentes, em algumas regiões do mundo, o preço do concreto por metro cúbico pode subir de US\$ 75 para US\$ 100; em outras, pode ter valores mais baixos, entre US\$ 60 e US\$ 70.” (MEHTA E MONTEIRO, 2008).

2.1.1. Componentes do concreto

A ASTM C125 e o ACI Committee 116 *apud* Mehta e Monteiro (2008) definem o concreto e seus principais componentes de sua produção, como apresentado a seguir.

Concreto: material compósito composto de um meio aglomerante no qual estão aglutinadas partículas ou fragmentos de agregado. No concreto de

cimento hidráulico, o aglomerante é formado de uma mistura de cimento hidráulico e água.

Agregado: material inerte, resistente, de forma granular, natural ou artificial, usado com um meio cimentício para produzir concreto ou argamassa. São responsáveis pelo controle da contração do concreto. Partículas de agregado maiores que 4,75 mm (peneira nº 4) são denominadas de agregado graúdo e partículas de agregado menores que 4,75 mm, mas maiores que 75 µm (peneira nº 200), são designadas de agregado miúdo. Exemplos de agregados:

- a) Pedregulho: agregado graúdo resultado de desintegração natural (rios).
- b) Areia: agregado miúdo resultante da desintegração (rios) ou da britagem de rocha (pedreiras).
- c) Brita: produto resultante da fragmentação industrial de rochas, matacões (pedreiras) ou seixos rolados (rios).
- d) Escória de alto-forno: material obtido pela fragmentação da escória de alto-forno (subproduto da indústria siderúrgica, gerado a partir da produção do ferro gusa) que se solidifica sob condições atmosféricas.
- e) Agregados de Resíduos de Construção e de Demolição (RCD): produto obtido da reciclagem de concreto, tijolos e pedregulhos.

Cimento: material seco que desenvolve propriedade aglomerante como resultado de hidratação (isto é, de reações químicas entre os minerais do cimento e água). Quando os produtos da hidratação ficam estáveis no ambiente aquoso, o cimento é chamado hidráulico, sendo o mais comumente usado o cimento Portland. Esse cimento é composto de clínquer, gesso, pozolanas e escória. O clínquer é um produto artificial composto essencialmente por silicatos de cálcio e aluminatos de cálcio, que durante a hidratação são os principais responsáveis pela característica adesiva do cimento. O gesso é um sulfato de

cálcio hidratado, que tem a função de evitar a pega instantânea do clínquer. As pozolanas e escória são materiais siliciosos ou siliciosos aluminosos que têm a característica de desenvolver resistência na presença de cal (SOARES, 2017).

Água: é o componente do concreto que reage quimicamente com o cimento, proporcionando as propriedades de pega e endurecimento, formando um elemento sólido único com os agregados (SOARES, 2017). O excesso de água é desfavorável à resistência do concreto. A Figura 1 mostra diferentes abatimentos de tronco de cone (*slump*) com diferentes valores de resistências. Para concretos com maiores relações água/cimento (a/c), o valor do *slump* é maior e, conseqüentemente, a resistência é menor.

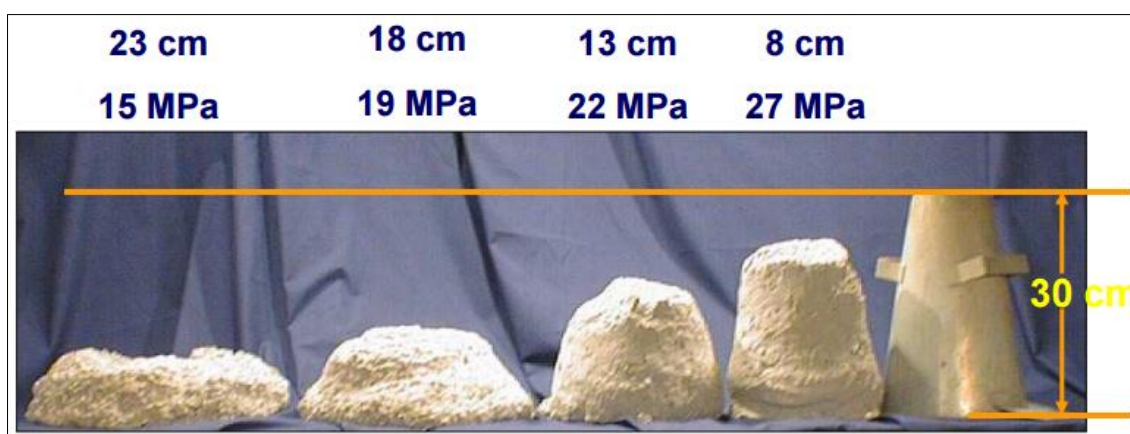


Figura 1. Valores da resistência do concreto conforme o *slump* (SOARES, 2017).

No transporte da central de concreto até a obra, ocorre o processo de perda de água pelo processo de evaporação, principalmente. Outros efeitos como o de abrasão, de temperatura e de absorção dos agregados também são responsáveis pela redução da consistência do concreto. Assim sendo, é permitido adicionar água na obra para correção do abatimento, respeitando o corte de água do traço especificado na central (Tabela 1).

ADIÇÃO DE ÁGUA PARA CORREÇÃO DE SLUMP (L)					
VOL.(m³)	ACRÉSCIMO DE SLUMP (MM)				
	5	10	15	20	25
3,0	5	10	20	25	35
3,5	5	10	25	25	40
4,0	10	20	25	30	45
4,5	10	20	30	35	50
5,0	10	20	30	40	55
5,5	10	25	35	45	60
6,0	15	25	35	50	65
6,5	15	30	40	55	70
7,0	20	30	40	60	75
7,5	20	35	45	60	80
8,0	20	35	45	65	80
8,5	25	35	50	65	85
9,0	25	40	50	70	90

Tabela 1. Tabela de correção de slump (ROMERO *et al.*, 2012).

Aditivos e adições: materiais adicionados à dosagem do concreto imediatamente antes ou durante a mistura. A NBR 11768:2011 define os aditivos como um produto adicionado durante o processo de preparação do concreto, em quantidades não superior a 5% da massa de material cimentício contida no concreto, com o objetivo de modificar propriedades do concreto no estado fresco e/ou estado endurecido, exceto pigmentos inorgânicos para o preparo de concreto colorido. Atualmente são bastante utilizados por trazerem muitos benefícios com suas aplicações. Exemplos de aditivos e adições:

- a) Aditivos químicos: influenciam na hidratação do cimento, podendo modificar a pega e a característica de endurecimento da pasta de cimento.
- b) Aditivos redutores de água: reduzem a tensão superficial da água, podendo plastificar misturas de concreto fresco (Figura 2).
- c) Aditivos incorporadores de ar: melhoraram a durabilidade do concreto exposto à baixa temperatura.

- d) Adições minerais (ex.: pozolanas): reduzem a fissuração por tensões térmicas no concreto.

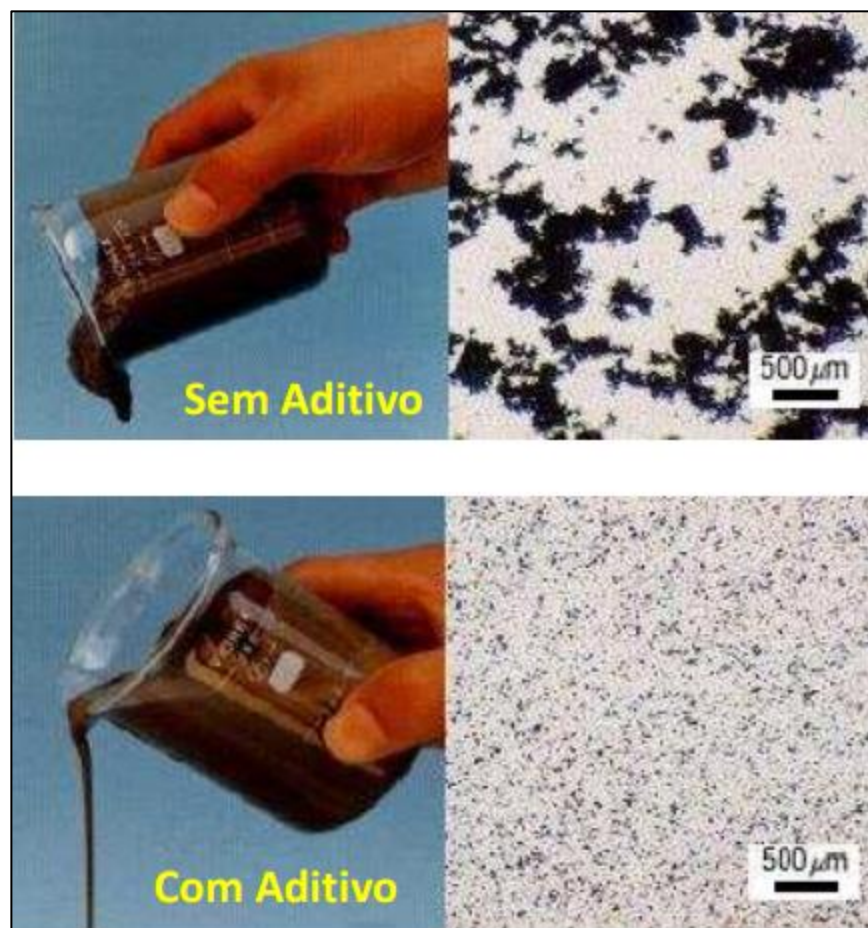


Figura 2. Ação do aditivo redutor de água (SOARES, 2017).

2.1.2. Propriedades do concreto endurecido

Mehta e Monteiro (2008) afirmam que um material construtivo para uma aplicação específica deve ser selecionado a partir da sua capacidade de suportar as cargas aplicadas. Os autores definem como carga a força por unidade de área, chamada de tensão. Essa tensão pode ser de compressão, tração, flexão, cisalhamento e torção, dependendo de como a ela atua sobre o material. Mehta e Monteiro (2008) também definem deformação como a mudança de comprimento por unidade de comprimento após a aplicação da carga. A relação tensão-

deformação nos materiais geralmente é expressa em termos de resistência, módulo de elasticidade, ductilidade e dureza.

A resistência representa a medida da quantidade de tensão necessária para que o material se rompa. Para o dimensionamento do concreto, a teoria da tensão o considera altamente apropriado para suportar carregamento de compressão. Em contrapartida, as resistências à tração e à flexão são da ordem de 10% e 15%, respectivamente, da resistência à compressão. O motivo de tão grande diferença entre as resistências se dá pela heterogênea e complexa microestrutura do concreto. Como a resistência do concreto é função do processo de hidratação do cimento, que é relativamente lento, as especificações e os ensaios para resistência do concreto se baseiam em corpos-de-prova curados sob condições-padrão de temperatura e umidade para períodos de 28 dias (MEHTA E MONTEIRO, 2008).

Segundo Mehta e Monteiro (2008), mesmo sendo um material compósito, muitas características do concreto não seguem as regras das misturas. Essas anomalias podem ser explicadas com base na microestrutura do concreto, especialmente pelo importante papel da zona de transição na interface entre agregado graúdo e pasta de cimento. Como exemplos dessas anormalidades, têm-se:

- a) O agregado e a pasta de cimento hidráulica, quando testados separadamente à compressão, apresentarão rompimento elástico. Já o concreto, antes de romper, apresenta comportamento inelástico;
- b) A resistência do concreto normalmente é muito menor que a resistência individual dos dois componentes.

Uma das mais sérias desvantagens das estruturas construídas com concreto é a tendência à fissuração do material. Como sua resistência à tração é baixa, as estruturas frequentemente fissuram como resultado da retração restringida, que se manifestam em tensão de tração. Essa retração ocorre devido a

alterações nas condições ambientes de umidade e temperatura. Quando exposto à umidade ambiente, o concreto fresco e úmido perde água e sofre retração. Da mesma forma, a retração térmica ocorre quando o concreto às altas temperaturas geradas pela hidratação do cimento é resfriado (MEHTA E MONTEIRO, 2008).

O critério profissional na seleção dos materiais de construção deveria levar em consideração não apenas a resistência, a estabilidade dimensional e as propriedades elásticas do material, mas também sua durabilidade, que tem grande influência no custo do ciclo de vida de uma estrutura. Durabilidade é definida como expectativa de vida de um material sob determinadas condições ambientais. Geralmente, estruturas de concreto impermeável têm longa durabilidade (MEHTA E MONTEIRO, 2008).

2.2. PISOS/PAVIMENTOS DE CONCRETO

Neste item apresentaremos as características dos pisos industriais/pavimentos rodoviários de concreto, tipologia, composição, locais de aplicação e todas as etapas executivas.

2.2.1. Definição de pisos industriais

Pisos/pavimentos de concreto são elementos estruturais que têm a finalidade de resistir, transmitir e distribuir ao subleito esforços verticais provenientes dos carregamentos.

Segundo a ABNT NBR 7207:1982, o pavimento é uma estrutura construída após a terraplenagem e é destinada economicamente e simultaneamente em seu conjunto a:

- a) Resistir e distribuir ao subleito os esforços verticais produzidos pelo tráfego;

- b) Melhorar as condições de rolamento quanto à comodidade e segurança;
- c) Resistir aos esforços horizontais que nele atuam, tornando-o durável a superfície de rolamento.

Pavimento é construído por meio de camadas de vários materiais de diferentes características de resistência e deformabilidade. Esta estrutura assim constituída apresenta um elevado grau de complexidade no que se refere ao cálculo das tensões e deformações. (SOUZA, 1980).

A ANAPRE (2009) considera os pisos de concreto como elemento de grande importância para a logística de operação das empresas, visto que é sobre ele que as atividades produtivas se realizam, proporcionando movimentações de cargas e equipamentos, além de resistir aos esforços mecânicos, químicos e biológicos.

2.2.2. Composição dos pisos de concreto

Conforme a Figura 3, os pisos de concreto podem ser compostos por até cinco camadas, cada uma com funções específicas no sistema construtivo. Os cuidados e as atenções devem ser prestados e planejados em cada uma dessas camadas, pois falhas no planejamento ou no processo executivo certamente ocasionarão o surgimento de manifestações patológicas.

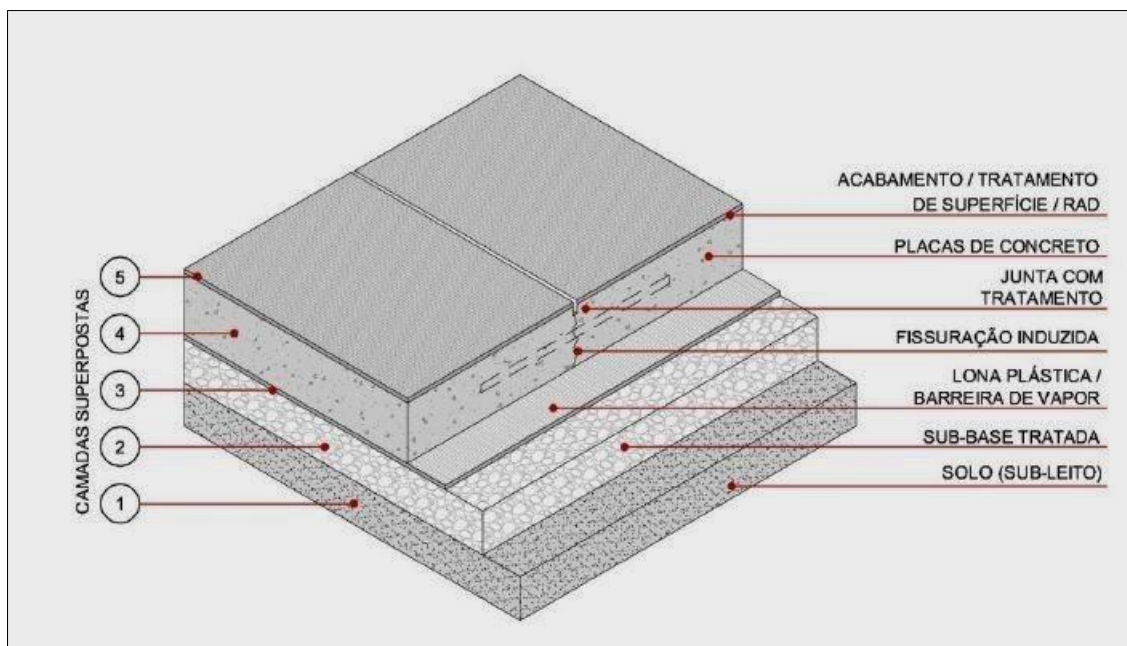


Figura 3. Componentes dos sistemas construtivos dos pisos de concreto (CRISTELLI, 2010).

2.3. TIPOS DE PISOS/PAVIMENTOS DE CONCRETO

Os pisos de concreto atendem variadas situações de carregamentos a quais são impostas, podendo, portanto, ser executados sobre diferentes aspectos estruturais e funcionais. Conhecer as características dos diversos tipos de pisos, considerando os aspectos tecnológicos e comportamentos dos materiais utilizados, nos métodos adotados para o dimensionamento adequado para cada local de aplicação, a logística de execução dos pavimentos, tanto pelos processos construtivos e equipamentos, o conhecimento dos profissionais envolvidos, são de extrema necessidade para a execução atendendo as três esferas do conceito das engenharias: segurança, economia e durabilidade.

Baseado nos autores Rodrigues & Cassaro (1998), Balbo (2005), Rodrigues, Botacini e Gasparetto (2006), Chodounsky (2007), Nakamura (2009) e ANAPRE (2009), pode-se classificar os pisos em quatro aspectos:

- a) Quanto à escola;
- b) Quanto ao reforço estrutural;
- c) Quanto ao tipo de fundação;

d) Quanto à utilização.

2.3.1. Classificação quanto à escola

Como o desenvolvimento dos sistemas construtivos de pavimentação no Brasil é um assunto muito recente e as principais tecnologias e métodos de cálculo de dimensionamento foram importados e adaptados das escolas americana e europeia, tem-se a importância de classificar e diferenciar tais conceitos adotados de cada escola.

A Tabela 2 classifica os sistemas dos pisos das escolas americana e europeia nos aspectos: dimensionamento, sistema construtivo, tamanho das placas, consumo de concreto, custo inicial e custo de manutenção, a quantidade de juntas e custos e complexidade de execução.

	Escola Americana:	Escola Europeia:
Referências para dimensionamento:	PCA, AASHTO, Westergaard, Pickett e Ray, Packard	Lösberg e Meyerhof
Sistema construtivo:	Concreto simples	Concreto reforçado com telas soldadas, fibras de alto módulo e protensão
Tamanho das Placas:	Pequenas dimensões	Grandes dimensões
Consumo de concreto:	Elevado	Baixo
Custo inicial e manutenção:	Elevado	Baixo
Quantidade de juntas:	Elevado	Baixo
Custo e complexidade de execução:	Baixo	Elevado

Tabela 2. Classificação do sistema de pisos de concreto segundo as escolas: americana e europeia (ANAPRE, 2009).

2.3.2. Classificação quanto ao reforço estrutural

A classificação dos pisos quanto ao reforço estrutural é baseada no agrupamento das classes de pisos através de qual sistema de reforço será adotado na execução das placas de concreto.

A importância de saber qual tipo de piso adotar, devido ao tipo de solicitação que sofrerá torna-se fundamental classificar os tipos de pisos quanto ao seu reforço estrutural. De acordo com Rodrigues, Botacini e Gasparetto (2006), os tipos de pisos de concreto são divididos em:

- a) Pisos de concreto simples, sem armaduras (Figura 4);



Figura 4. Piso de concreto sem armadura (TECNIKA, 2017).

- b) Pisos de concreto armado (Figura 5);



Figura 5. Piso de concreto armado (ROMERO, 2016).

c) Pisos de concreto com adição de fibras metálicas (Figura 6);



Figura 6. Concreto com fibras metálicas (ENGENHARIA, 2017).

d) Pisos de concreto com adição de fibras sintéticas: microfibras – 810 milhões de filamento por kg (Figura 7);



Figura 7. Concreto com fibras sintéticas (GRANATO, 2014).

e) Pisos de concreto protendido (Figura 8).



Figura 8. Piso de concreto protendido (AEAJS, 2017).

2.3.3. Definição das etapas executivas do piso industrial

A execução de pisos de concreto deve ser feita por equipe qualificada e com o máximo controle e planejamento possíveis. Mesmo com projetos e materiais de boa qualidade, caso o pavimento seja mal executado o desempenho do mesmo pode ficar comprometido (RODRIGUES, BOTACINI e GASPARETTO, 2006).

Definido o projeto específico, as empresas qualificadas que, em sintonia, desenvolverão todo o processo construtivo. Esta cadeia é formada pelas seguintes empresas: empresa de terraplenagem, central de concreto, construtora, laboratório de ensaios tecnológicos, projetista e cliente/usuário; lembrando que, é essencial que a coordenação de todo o processo seja realizada por um engenheiro capacitado e responsável pelas definições, determinações e prazos de cada etapa a ser realizada.

Na sequência, segue cada uma dessas etapas:

- a) Análise do terreno de fundação;
- b) Terraplenagem e compactação;
- c) Definição do tipo de concreto a ser usado;
- d) Dimensionamento das placas de concreto;
- e) Lançamento do concreto
- f) Adensamentodo concreto;
- g) Acabamento superficial
- h) Cura do concreto;
- i) Cura inicial;
- j) Cura complementar;
- k) Cortes das juntas;
- l) Tratamento das juntas.

Cada etapa acima citada será relacionada na prevenção e no tratamento das manifestações patológicas, em especial a fissuração que é o objeto deste trabalho.

2.4. MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS DOS PISOS DE CONCRETO

Segundo o dicionário a palavra "patologia" significa literalmente "estudo da doença" e tem origem no grego, onde Pathos significa doença e Logos significa estudo. No entanto, "patologia" também é usada como sinônimo de

doença. “Os médicos enterram seus erros, os arquitetos os cobrem de mármore e os engenheiros fazem grandes relatórios que nunca vêm a luz do dia” (CÁNOVAS, 1988). Em analogia com o significado ofertado pelos dicionários de português, podemos associar o título “patologia dos pisos de concreto”, como “estudos das doenças dos pisos de concreto”.

A manifestação patológica dos pisos industriais de concreto é geralmente causada por falhas na execução ou falhas de projeto. Quando não se respeita todas as etapas da execução dentro dos critérios necessários ou não prevê no projeto todas as ações, carregamentos e os esforços gerados, certamente resultarão consequências sérias no desenvolvimento das operações industriais, acarretando em aumento nos custos de manutenção dos equipamentos, redução da vida útil das máquinas, frotas e etc., redução na produção, dificuldades nos transportes de cargas, imprecisão nos aparelhos eletrônicos, contaminação, além do desconforto visual provocado pela má situação do piso, dentre outros fatores que sinalizam a importância deste assunto.

O principal fator para evitar as manifestações patológicas é controlar todas as etapas de execução do pavimento, desde um projeto especializado, que analisa bem a atividade a ser realizada pelo empreendimento, prevendo ações futuras no empreendimento considerando a possibilidade do crescimento econômico, até a execução da obra.

Quando é detectado o aparecimento de manifestações patológicas, o primeiro passo é identificá-las e classificá-las para auxiliar no planejamento e na tomada de decisão de qual será a melhor maneira de tratamento e recuperação.

2.4.1. Tipos, causas de trincas e deslocamento (fissuras) do pavimento de concreto

Segundo Chodounsky (2010), as principais manifestações patológicas dos pisos industriais de concreto são:

a) Fissuração (por retração) (Figura 9);



Figura 9. Fissura no concreto por retração (GRANATO, 2014).

b) Esborcinamento de juntas (Figura 10);



Figura 10. Esborcinamento de juntas em piso de concreto (CHODOUNSKY, 2010).

c) Desgaste por abrasão (Figura 11);



Figura 11. Desgaste por abrasão em piso de concreto (ROMERO, 2016).

d) Problemas relacionados à umidade ascendente (Figura 12);



Figura 12. Manifestação patológica relacionada à umidade ascendente em piso de concreto (CHODOUNSKY, 2010).

e) Empenamento das bordas (*curling*) (Figura 13);



Figura 13. Empenamento de bordas em piso de concreto (CHODOUNSKY, 2010).

f) Delaminação (*delamination*) (Figura 14);



Figura 14. Delaminação em piso de concreto (CHODOUNSKY, 2010).

g) Borrachudo (*crusting*) (Figura 15).



Figura 15. Ocorrência de borrachudo em piso de concreto (CHODOUNSKY, 2010).

O dano mais comum que se apresenta no concreto é sem dúvida a fissuração excessiva, seja por efeito das modificações internas de comportamento ao longo do tempo (efeitos reológicos), da própria constituição do material ou por efeito de esforços aplicados às peças. As aberturas das fissuras podem variar desde a chamada micro fissura, da ordem de 0,05 mm, até aberturas muito maiores (FILHO E CARMONA, 2013).

As principais causas do aparecimento de trincas e fissuras nos pavimentos de concreto são o elevado teor de cimento, elevado fator água/cimento, curvas granulométricas inadequadas dos agregados, falta de hidratação prévia do substrato, falta de cura e ausência de aderência (ROMERO, 2016).

2.4.2. Trincas e fissuras

Segundo Granato (2014), estão entre as causas da fissuração:

- a) Movimentos gerados no interior do concreto: normalmente as tensões só surgem quando o movimento do concreto é restringido. Estas restrições podem ser locais (ex.: armaduras) ou gerais (vínculos da estrutura). Exemplos: retração de

secagem, expansão ou contração térmica, deformação plástica, etc.;

- b) Expansão de materiais no interior do concreto: como é o caso da corrosão das armaduras, que se expandem e geram tração no concreto;
- c) Condições externas impostas: acarretadas da ação de cargas ou deformações impostas pela própria estrutura, como por exemplo, recalques diferenciais.

O concreto “jovem” é particularmente propício a fissurar. A fase de transição entre concreto fresco e concreto endurecido “jovem” apresenta resistências à tração e deformabilidade muito baixas, sendo um período crítico, que começa poucas horas depois da concretagem (cerca de 2 a 16 horas) (GRANATO, 2014). Na Figura 16 são mostradas as possíveis causas do aparecimento de fissuras a partir da concretagem.

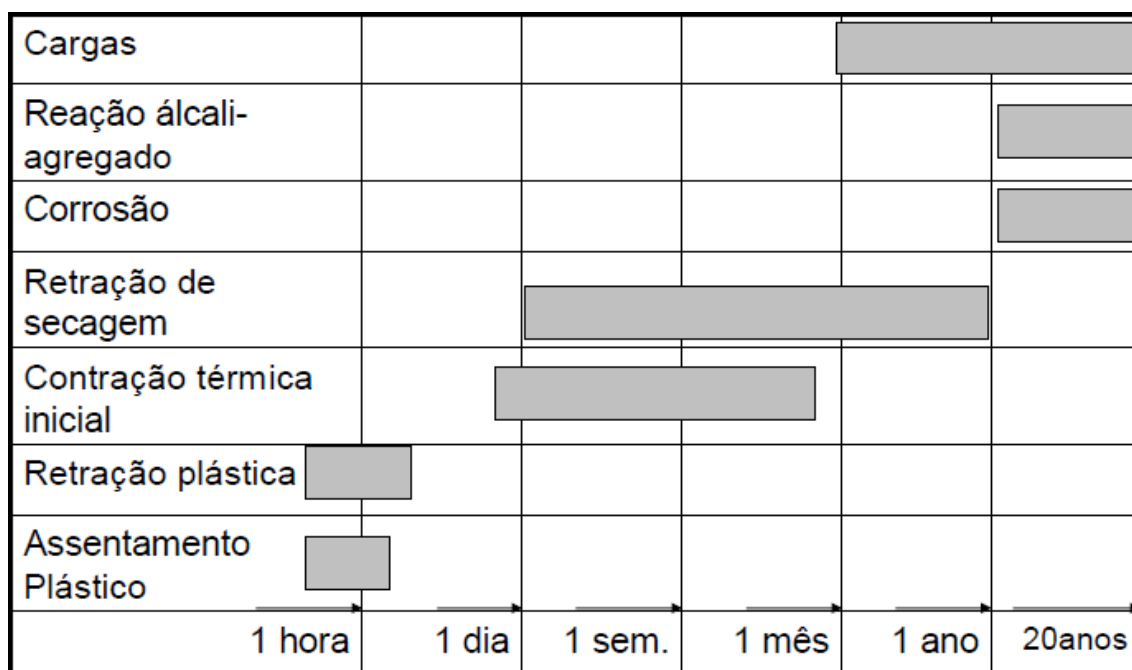


Figura 16. Causas da fissuração do concreto a partir da concretagem (GRANATO, 2014).

2.4.3. Fissuração

De acordo com os dicionários, o significado da palavra fissura é rachadura; abertura pequena feita longitudinalmente em fenda pequena. Em se tratando de fissuras nos pisos industriais de concreto pode-se classificá-las como um evento decorrente do concreto, que não pode ser ignorado, pois é difícil evitá-las mesmo tomando todas as medidas preventivas. Muito das vezes o que resta é tomar medidas de tratamento e recuperação.

Quando se estuda tecnologia do concreto, especialmente o item de manifestações patológicas, as fissuras têm uma participação importante, porque elas se constituem veículo condutor de vários agentes agressivos ao concreto. As fissuras ocorrem quando as deformações sofridas pelo concreto superam as deformações críticas. As deformações no concreto são de origem interna (intrínseca), de origem externa (extrínseca), ou uma combinação de ambas.

Existem cinco tipos de fissuras em pisos de concreto, podendo ser observadas na Figura 17:

- a) Fissuração por retração;
- b) Fissuração estrutural;
- c) Retração química;
- d) Excesso de água na superfície;
- e) Efeito da temperatura.

O que as diferencia são suas causas e as consequências na relação da vida útil das estruturas (Tabela 3).

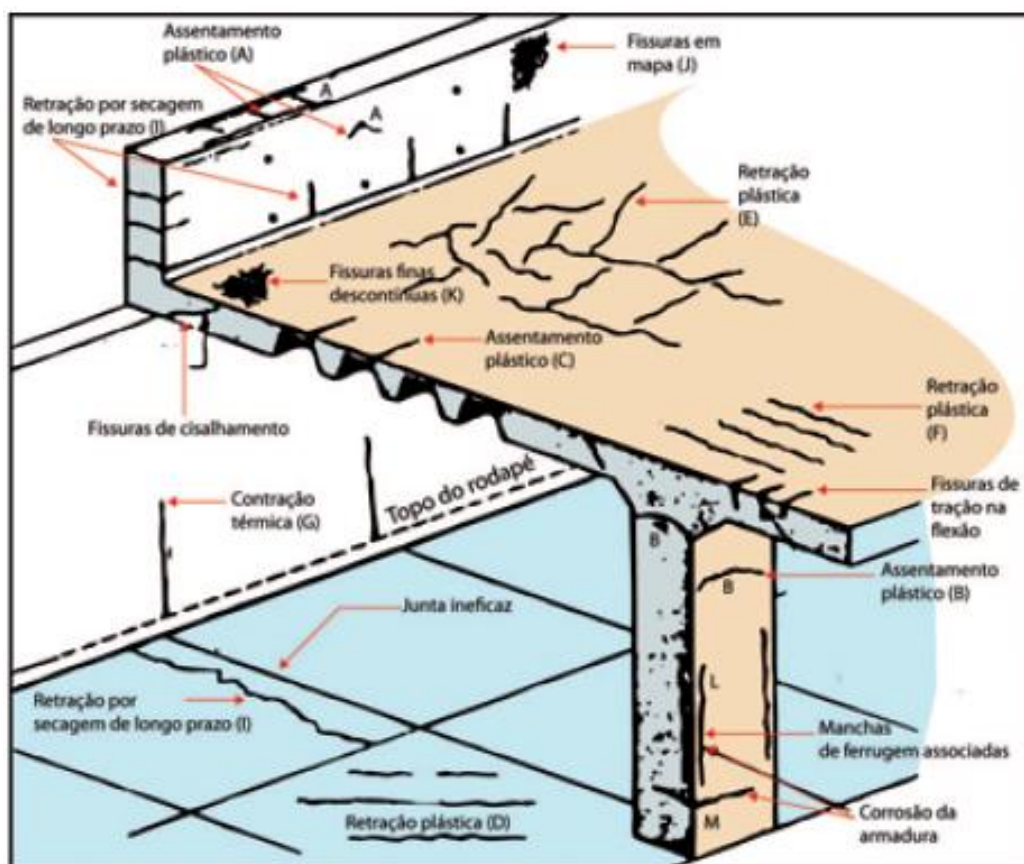


Figura 17. Tipos de fissuras nas estruturas de concreto (GRANATO, 2014).

Estado do concreto	Mecanismo	Causas Principais	Causas Secundárias	Período de Aparecimento	Exemplos
Fresco	Assentamento plástico	Excesso de exsudação	Secagem/ dessecamento rápido	10 min. a 3 horas	- Sobre a armaduras em lajes e vigas - Em arco no topo de pilares
	Retração plástica	Secagem/dessecamento rápido	Exsudação	30 min. a 6 horas	- Sobre a armaduras em lajes - Em placas de piso
	Movimento de fôrmas	Escoramento insuficiente	Lançamento inadequado	Imediato	- Em laterais de vigas e paredes
Endurecido	Fenômeno físico	Retração por secagem	Cura inadequada	Semanas ou meses	- Em vigas de grande altura - Em lajes
		Variação sazonal de temperatura	Falta de juntas de movimentação	1 dia ou semanas	- Verticais em muros
	Fenômeno térmico	Calor de hidratação	Excesso de compostos com reações exotérmicas	Acima de 3 meses	- Em grandes volumes de concreto
		Corrosão de armaduras	Concreto poroso, ambiente muito agressivo	Acima de 3 meses	- Paralelas às armaduras principais
	Fenômeno químico	Retração álcali-agregado	Excesso de álcalis no cimento	Acima de 5 meses	- Tipo "mapa"
		Formação de etringita/taumásita	Porosidade do concreto	Acima de 1 ano	- Tipo "mapa"
	Estrutural	Cargas de projeto	Ações excepcionais	Após carregadas	- Inclínadas de cisalhamento - Verticais de torção
		Deformação lenta	Cargas acima das previstas	Acima de 6 meses	- Verticais em balanço

Tabela 3. Causas da fissuração do concreto no estado fresco e endurecido (CARMONA & HELENE *apud* FILHO & CARMONA, 2013).

2.4.3.1. Fissuração por retração

Caracterizam-se por fissuras regulares, geralmente paralelas às juntas serradas e são causadas pelo atraso no corte, reforço inadequado ou restrição à movimentação da placa, como no caso de placas com espessura muito irregular por deficiência no preparo da base.

Segundo a ANAPRE (2009), três são as características que combinadas levam o concreto a retrair:

- a) A geometria da estrutura;
- b) O traço do concreto;
- c) As condições climáticas.

Geometria da estrutura: nas peças com elevada relação entre a superfície exposta e o volume total da peça, tais como pisos, pavimentos e lajes de concreto, a perda de água para o ambiente se dá de maneira muito rápida. Ora, se a retração do concreto está relacionada à perda da água e se este tipo de estrutura está mais vulnerável a esta perda é intuitivo pensar que lajes, pisos e pavimentos de concreto naturalmente sofrem mais com a retração do concreto. As dimensões das placas (distâncias entre juntas) cada dia maiores e a execução de placas cada vez mais esbeltas tornam os pisos e pavimentos extremamente suscetíveis aos efeitos da retração do concreto.

Traço do concreto: diversos fatores relacionados aos materiais que compõem o concreto e suas combinações podem influenciar a retração do concreto, principalmente a retração por secagem. O tipo, a granulometria e a dimensão máxima do agregado, a relação água-cimento, a quantidade de água de amassamento e o emprego de adições minerais e aditivos químicos são variáveis importantes que afetam fortemente a retração do concreto. A literatura e a prática do dia-a-dia apontam que agregados com maior módulo de deformação conduzem a um menor grau de retração. Deve-se empregar a menor quantidade de água de amassamento possível, assim como se devem evitar agregados com

excesso de material pulverulento e argila. A distribuição granulométrica contínua reduz a retração do concreto quando comparada com uma combinação de agregados miúdos e graúdos inadequada.

Condições climáticas: a retração do concreto está intimamente relacionada à perda de água para o ambiente. Os principais fatores climáticos que sequestram a água do concreto são a alta temperatura, a baixa umidade relativa do ar e a velocidade do vento que incide sobre a peça recém concretada. Segundo a Portland Cement Association (PCA) *apud* ANAPRE (2009), uma condição climática com temperatura do ar em 25°C, umidade relativa do ar de 40%, temperatura do concreto de 30°C e velocidade de vento de 15 km/h é suficiente para se atingir um nível de evaporação de 1litro/m²/hora, capaz de provocar importante grau de retração plástica.

2.4.3.2. Tipos de fissuras por retração

- a) Fissuras de retração plástica;
- b) Fissuras de retração hidráulica;
- c) Retração por carbonatação;
- d) Retração térmica;
- e) Microfissuras tipo “pé-de-galinha”.

2.4.3.3. Fissuras de retração plástica

Segundo DNIT 061/2004, “fissuras de retração plástica são fissuras pouco profundas (superficiais) de pequena abertura (inferior a 0,5mm) e de comprimento limitado. Sua incidência costuma ser aleatória e elas se desenvolvem formando ângulo de 45° a 60° com o eixo longitudinal da placa” (Figura 18).



Figura 18. Fissuração tipicamente causada por retração plástica em um concreto recém-lançado em uma laje (ABCP, 2003).

Para Chodounsky (2010) elas surgem na superfície do concreto ainda fresco (na fase de enrijecimento, o concreto é bastante susceptível à fissuração devido a sua baixíssima resistência).

As primeiras manifestações da retração plástica verificam-se antes da pega do concreto e são da ordem de 1% do volume absoluto de cimento. Esse fenômeno pode ser resultado da perda de água por evaporação ou sucção do substrato, sendo o primeiro o mais preocupante. A taxa de evaporação, ou seja, a velocidade de perda de água depende das condições ambientais, como umidade relativa do ar, temperatura e velocidade do vento, e da velocidade de exsudação da água do concreto. Quando a taxa de evaporação for maior que a velocidade de exsudação da água do concreto, não haverá tempo hábil para repor a água evaporada. Espaços serão criados no interior do concreto, gerando tensões de tração que, quando maiores que a resistência, podem causar fissuração (KOSMATKA *et al.* *apud* SILVA E BATTAGIN, 2011).

Com o objetivo de minimizar o risco de fissuração nas estruturas de concreto, são de grande importância o controle da temperatura e o entendimento da contribuição de cada material na temperatura global do concreto fresco.

Normalmente, esse controle é realizado em obras de pavimento de concreto ou na execução de estruturas de grandes volumes de concreto e grandes áreas superficiais (SILVA E BATTAGIN, 2011).

A temperatura inicial do concreto fresco é determinada por duas variáveis, a quantidade de cada material na mistura e seu calor específico. O cimento ocupa entre 7% e 15% do volume total, enquanto os restantes 70% e 90% do volume são compostos da água de amassamento e os agregados (PCA *apud* SILVA E BATTAGIN, 2011). A respeito do calor específico, o cimento e os agregados apresentam calor específico baixo, podendo dissipar calor rapidamente, enquanto a água apresenta calor específico bastante elevado, podendo armazenar grandes quantidades de calor.

O cimento logo após sua fabricação, ou seja, após a moagem do clínquer, ainda se encontra quente e é estocado em silos de armazenamento. Em épocas de grande demanda e estações de climas mais quentes, o produto não possui tempo para resfriar e chegar aos consumidores com as condições adequadas de uso. Porém, a temperatura do cimento não possui grande influência na temperatura global do concreto, como mostrado nos primeiros estudos a respeito deste assunto realizados por Lerch (1955). Nele, demonstrou-se que para baixar a temperatura do concreto em apenas 1°C, a temperatura do cimento deve ser reduzida em 8,2°C ou deve-se diminuir a temperatura da água em 4,9°C, ou, ainda, reduzir a temperatura dos agregados em apenas 1,5°C. Isto demonstra que a influência da temperatura do cimento na temperatura global do concreto é muito menor do que a do agregado e a da água (SILVA E BATTAGIN, 2011).

Através da Equação 1, pode-se descobrir a temperatura aproximada do concreto fresco, tomando-se a temperatura dos materiais e suas respectivas massas (NRMCA *apud* SILVA E BATTAGIN, 2011).

$$T = \frac{0,22(T_a \cdot M_a + T_c \cdot M_c) + T_w \cdot M_w + T_{wa} \cdot M_{wa}}{0,22(M_a + M_c) + M_w + M_{wa}} \quad (1)$$

Onde:

T = temperatura do concreto fresco, em °C;

T_a = temperatura do agregado, em °C;

T_c = temperatura do cimento, em °C;

T_w = temperatura da água, em °C;

T_{wa} = temperatura da água livre no agregado, em °C;

M_a = massa de agregado, em gramas;

M_c = massa de cimento, em gramas;

M_w = massa de água, em gramas;

M_{wa} = massa de água livre no agregado, em gramas.

2.4.3.4. Fissuras de retração hidráulica ou por secagem

A retração por secagem ocorre por perda de parte da água de amassamento por evaporação para o ambiente (Figura 19). Esta perda é mais lenta do que a ocorrida na retração plástica. A retração será tanto maior quanto maior o teor de água de amassamento. Pastas e argamassas apresentam maior retração que o concreto e, portanto, quanto mais pasta ou argamassa contiver no concreto, maior será a retração.



Figura 19. Fissuras de retração por secagem (ANAPRE, 2016).

Concretos que utilizam cimentos ou com adições ao cimento com maior superfície específica apresentam maior retração.

Causas usuais:

- a) Concretos com características de elevada retração;
- b) Quantidade e posicionamento inadequados das juntas;
- c) Armadura insuficiente ou mal posicionada;
- d) Atraso no corte/protensão;
- e) Cura;
- f) Vinculação da placa em elementos rígidos;
- g) Crítico em pisos protendidos ou pisos tipo “joint less” (“sem juntas”);
- h) Grande variação da espessura da placa;
- i) Alteração da posição das armaduras;
- j) Seção enfraquecida fora da posição das juntas;
- k) Aumento do atrito da placa com a base.

Conforme ANAPRE (2016), a cura úmida ou química não elimina a retração, apenas retarda sua ocorrência e é fundamental para a redução dos seus efeitos (fissuração).

2.4.3.5. Retração por carbonatação.

A retração por carbonatação é provavelmente causada pela dissolução de cristais de Ca(OH)_2 , sob tensão devido á retração hidráulica e da posição do CaCO_3 nos espaços não sujeitos à tensão. Temporariamente, é aumentada a compressibilidade da pasta de cimento. Se a carbonatação ocorrer depois da desidratação do CsH , também resultará na retração. Pode ocorrer depois de 5, 10, 20 anos, mas é bastante superficial, gerando microfissuras, como um craqueamento (Figura 20). Essa situação depende muito do consumo de cimento e do efeito parede (PACHECO E HELENE, 2017).

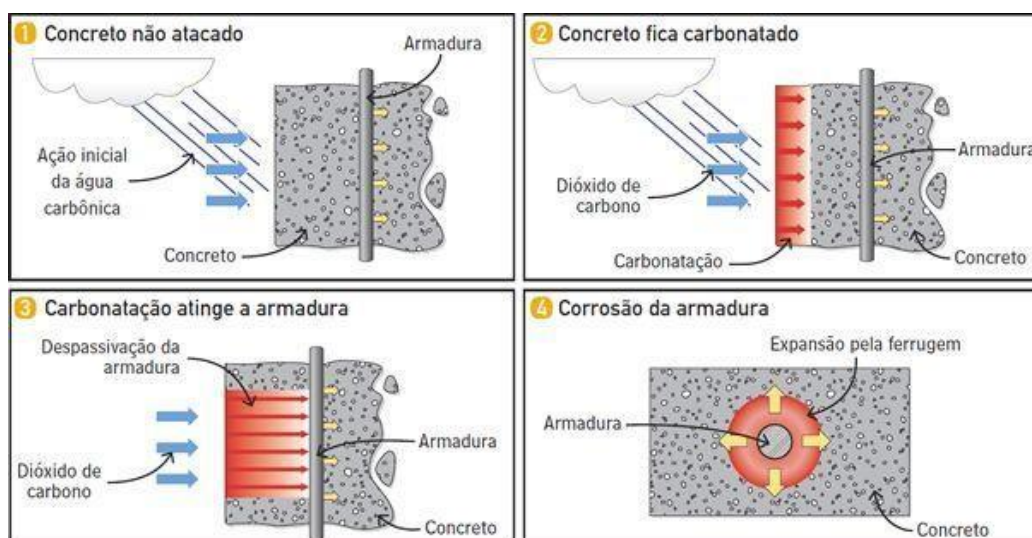


Figura 20. Ação da ocorrência da carbonatação (ANAPRE, 2016).

2.4.3.6. Retração térmica

Segundo Filho e Carmona (2013), as variações volumétricas podem ocorrer em estado fresco resultantes das altas temperaturas durante a hidratação do cimento (reação exotérmica) e a posterior contração diferencial pelo resfriamento. Já no estado endurecido os deslocamentos estão associados às variações de temperatura a que a estrutura está sujeita. Isso acontece da mesma maneira no caso da retração, em que a restrição de movimento provoca os esforços de tração (Figura 21).



Figura 21. Fissuração por contração e retração térmica (GRANATO, 2014).

Esse fenômeno é de grande preocupação em grandes volumes de concreto (PACHECO E HELENE, 2017).

2.4.3.7. Microfissuras tipo “pé-de-galinha”

Na maioria das vezes são pouco visíveis, sendo mais bem notadas durante a secagem da superfície após sua molhagem. Tornam-se bastante visíveis com o tempo em pisos expostos a sujeira excessiva, pois há acúmulo de pó nas microfissuras que ficam, então, ressaltadas do restante do piso. Apesar da má aparência e da má impressão que causa ao usuário do piso, esse tipo de fissuração não acarreta em comprometimento estrutural da placa e não necessariamente indica o início de uma deterioração do piso (Figura 22).

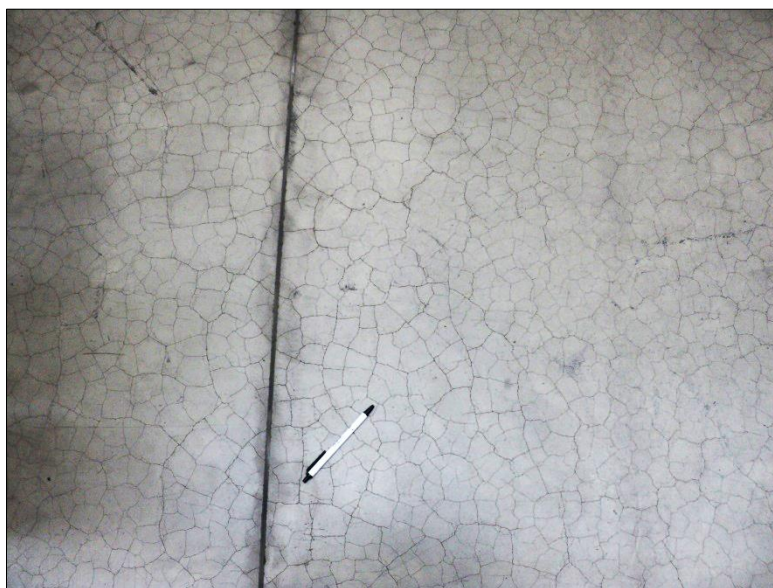


Figura 22. Microfissuras tipo “pé de galinha” em piso de concreto (LPE, 2017).

O desempenho contínuo, principalmente com acabadoras mecânicas, induz a subida excessiva de material fino (essencialmente cimento) à superfície, o que torna essa região do concreto mais susceptível à retração e à fissuração. Entretanto, sabe-se se que outros fatores podem contribuir para a ocorrência das fissuras tipo pé-de-galinha:

- a) Condição de exposição (baixa umidade relativa do ar, elevada temperatura do ar e do concreto, exposição direta ao sol e vento).
- b) Operações de acabamento (trabalho excessivo de desempeno e aspersão de água no piso durante o acabamento) (Figura 23).
- c) Concretos com elevados teores de finos e agregados com excesso de impurezas (torrões de argila e material pulverulento).
- d) Cura deficiente (atraso da cura, ciclos de secagem e molhagem e utilização de água com temperatura muito inferior à do concreto).



Figura 23. Excesso de água na superfície durante acabamento (GRANATO, 2014).

2.5. INFLUÊNCIAS NAS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS (FISSURAÇÃO)

2.5.1. Influência ambiental sobre a evaporação da água do concreto

A taxa de evaporação deve ser monitorada durante toda a concretagem como instrumento de decisão quanto às providências a serem tomadas com o

objetivo de minimizar o surgimento de eventuais fissuras causadas pela retração plástica. A taxa de evaporação é calculada tomando-se as medidas das quatro variáveis que a influenciam. São elas: a temperatura ambiente, a umidade relativa do ar, a temperatura do concreto, e a velocidade do vento (ROMERO, 2017).

Através do ábaco da Figura 24, pode-se avaliar o risco do desenvolvimento de fissuras no concreto.

Para utilizar o diagrama, é necessário medir as quatro variáveis envolvidas. Assim, entre primeiro com a temperatura do ar e encontre a umidade relativa; mova este ponto até encontrar a temperatura do concreto e em seguida mova até a velocidade do vento. Mova para a esquerda e leia a taxa de evaporação aproximada.

A taxa de evaporação também pode ser calculada por meio da seguinte expressão (ACI, 2007):

$$E = 5 \left([T_c - 18]^2 \times 5 - r [T_a + 18]^2 \times 5 (V + 4) \times 10^{-6} \right) \quad (2)$$

Onde:

E = taxa de evaporação (kg/m²/h);

T_c = temperatura do concreto (°C);

T_a = temperatura do ar (°C);

r = umidade relativa do ar (%);

V = velocidade do vento (km/h).

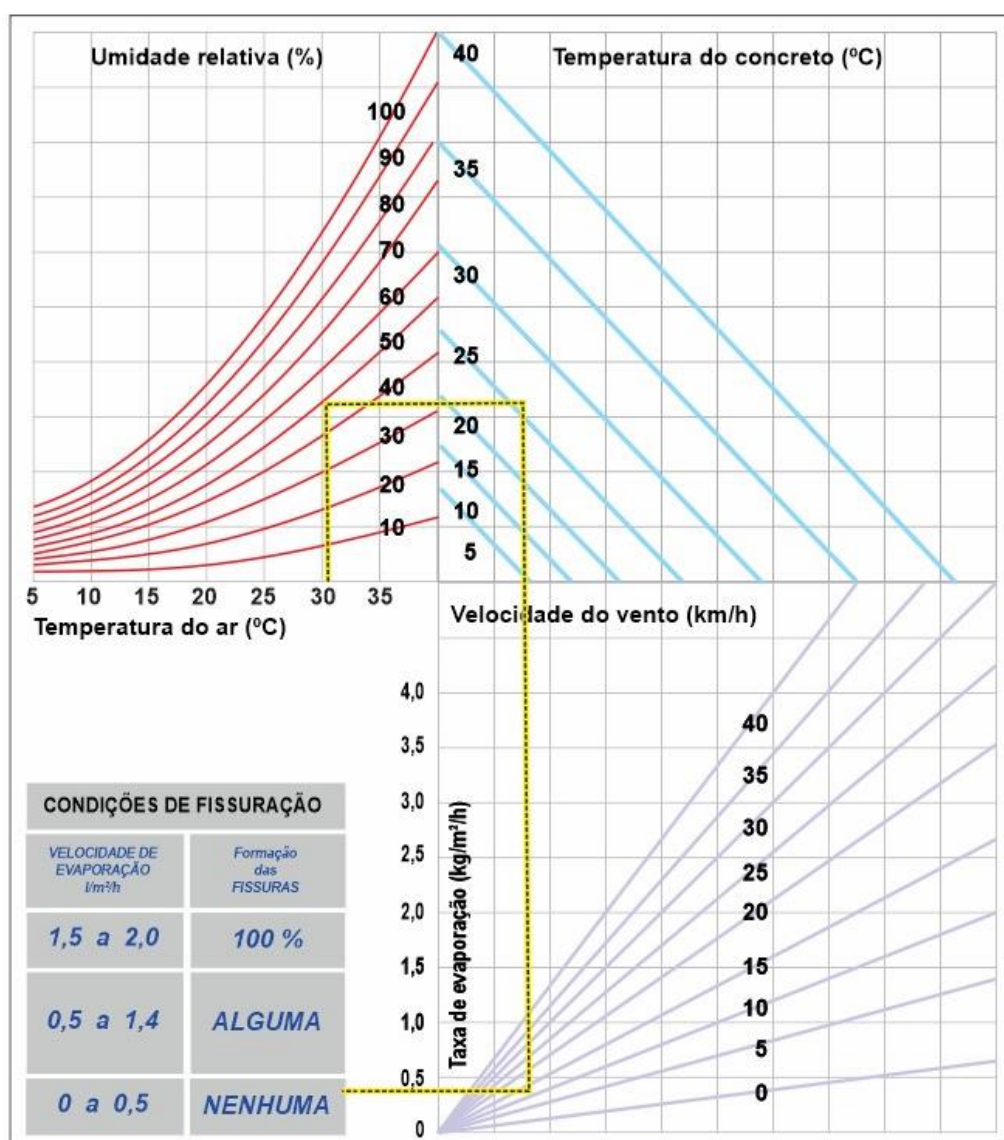


Figura 24. Ábaco de influência ambiental sobre a evaporação da água do concreto (CÁNOVAS, 1988).

A obtenção dessas variáveis em campo deve ser realizada tomando-se cuidados para que sejam medidas de forma correta. A velocidade do vento deve ser medida a cerca de 50 cm da superfície do concreto e a temperatura ambiente e umidade do ar devem ser medidas entre 1,2 m e 1,8 m da superfície do concreto. Já a temperatura do concreto deve ser medida diretamente na massa do concreto recém-lançado ou próximo ao local de lançamento (Figura 25).



Figura 25. Medida da temperatura do concreto a laser (SILVA E BATTAGIN, 2011).

Em condições normais de velocidade de exsudação da água do concreto, uma taxa de evaporação maior ou igual a $1 \text{ kg/m}^2/\text{h}$ é considerada elevada e o risco de fissuração também será alto (KOSMATKA *et al.*, 2002).

A velocidade de exsudação é influenciada por cimentos e adições de elevada área específica ou mesmo agregados com altos teores de finos. Quanto maior a taxa de evaporação e menor a velocidade de exsudação do concreto, maior será a intensidade da fissuração.

2.5.2. Influência da resistência inicial

Além da velocidade de exsudação, outro aspecto pouco estudado e que pode influenciar na intensidade de fissuração quando a retração plástica ocorre é a influência do desenvolvimento das resistências iniciais do concreto. Concretos com menores resistências mecânicas nas primeiras horas apresentam menor combate às tensões de tração que levam à fissuração.

Embora dependa claramente da velocidade de exsudação, a probabilidade de fissuração causada pela retração plástica pode ser classificada conforme o Gráfico 1 adaptada de classificação semelhante proposta por Petrucci (1968).

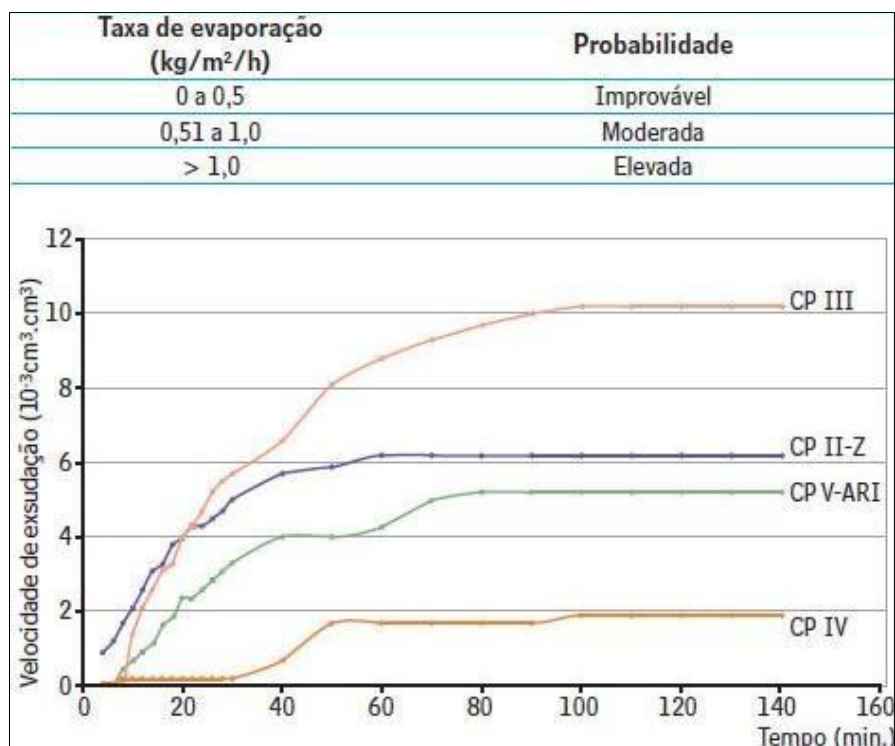


Gráfico 1. Probabilidade de fissuração em concreto em pasta de quatro diferentes cimentos Portland (ABCP, 1999).

Ressalva-se que estas faixas de probabilidade devem ser avaliadas com cuidado, pois o diagrama desenvolvido pela PCA, como já discutido, não considera a velocidade de exsudação da água do concreto.

A recomendação da PCA (KOSMATKA *et al.*, 2002) para os casos de concretos elaborados com cimentos com adição de pozolana e outras adições de elevada área específica (exemplo: sílica ativa ou metacaulium) é que a taxa de evaporação considerada crítica seja reduzida de 1,0 kg/m²/h para 0,5 kg/m²/h.

2.6. PROCESSOS CONSTRUTIVOS E MÉTODOS PREVENTIVOS

Todo o processo construtivo deve estar sempre bem acompanhado do método preventivo, deste modo é possível amenizar as fissuras, que é o objetivo de todo um trabalho de concretagem de pavimentos de concreto.

De uma forma geral, existem certos tipos de pisos que não podem ocorrer fissuras devido aos equipamentos que irão transitar neste piso, então da

necessidade de um trabalho em conjunto de toda a parte executiva e a central de concreto.

O Gráfico 2 ilustra por qual motivo ocorre o surgimento de fissuras em pisos de concreto.

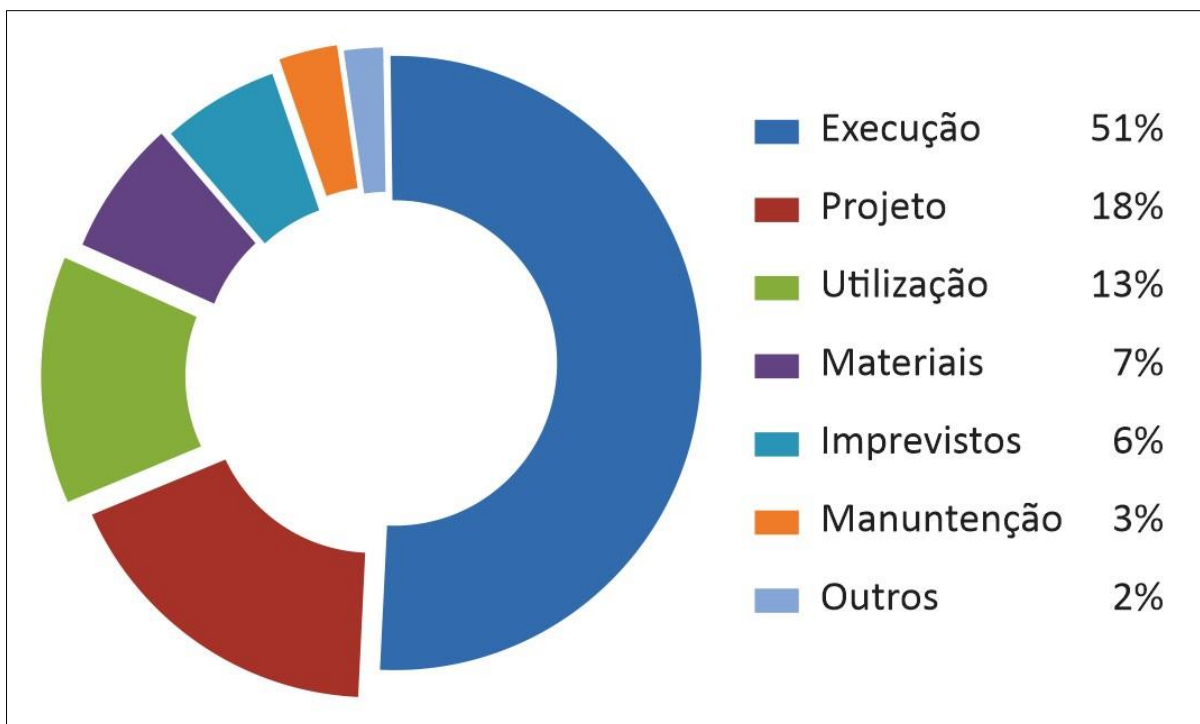


Gráfico 2. Incidência das manifestações patológicas no concreto no Brasil (PIANCASTELLI, 1997).

2.6.1. Medidas preventivas

Para poder prevenir as fissuras é preciso identificar e dominar todas as etapas do processo de execução dos pisos de concreto.

Segundo Romero (2016), o processo de construção pode ser dividido em três etapas bem definidas:

- a) Concepção do projeto (que engloba a parte de planejamento, cálculos, desenhos, decisão sobre o tipo de material a ser usado e a sua quantidade);

- b) Execução (realização das tarefas de acordo com o cronograma da obra);
- c) Utilização (deve ser coerente com o que foi projetado).

Do ponto de vista econômico, Helene (1997) ressalta que os custos de intervenção na estrutura, para atingir certo nível de durabilidade e proteção, crescem exponencialmente quanto mais tarde for essa intervenção e que a evolução desse custo pode ser assimilada ao de uma progressão geométrica de razão 5, conhecida por “Lei dos 5” ou regra de Sitter, representada no Gráfico 3, que mostra a evolução dos custos em função da fase da vida da estrutura em que a intervenção seja feita.



Gráfico 3. Custo relativo da intervenção (HELENE, 1997).

2.6.2. Projeto

O projeto é essencial para definição da resistência necessária ao tráfego e para suportar agressividade do ambiente e eventual exposição a intempéries.

Portanto, exige-se um projeto consistente, desenvolvido por profissionais especializados, baseados em informações técnicas e com rigoroso

controle de qualidade na realização de cada etapa da obra. A mão de obra de execução do projeto tem que ser bastante qualificada, pois essa é uma parte fundamental onde um erro pode ocasionar fissuras que podem inviabilizar a continuação da obra e aumentar muito o custo da obra.

A melhor aplicação, segundo Helene (1997), da “Lei dos 5”, ou regra de Sitter, deve ocorrer na fase de projeto. Toda medida tomada nesse nível tem o objetivo de aumentar a proteção e a durabilidade da estrutura, como, por exemplo, aumentar o cobrimento da armadura, reduzir a relação água/cimento do concreto ou aumentar o fck, especificar certas adições, ou tratamentos protetores de superfície, e outras tantas. Isto implica em um custo bem menor que em qualquer outra etapa do projeto.

Segundo Piancastelli (1997), a segunda maior causa das manifestações patológicas no Brasil são os projetos que pecam por má avaliação de cargas; erros no modelo estrutural; erros na definição da rigidez dos elementos estruturais; falta de drenagem; ausência de impermeabilização; e deficiências no detalhamento das armaduras.

Além dos aspectos abordados, espera-se do projetista: apresentação de soluções otimizadas conciliando redução de custo e segurança (durabilidade), imparcialidade (independência de fornecedores e aplicadores) e busca contínua de novas tecnologias (CHODOUNSKY, 2007).

Na Figura 26 é apresentado um fluxograma com informações para a elaboração dos pisos industriais.

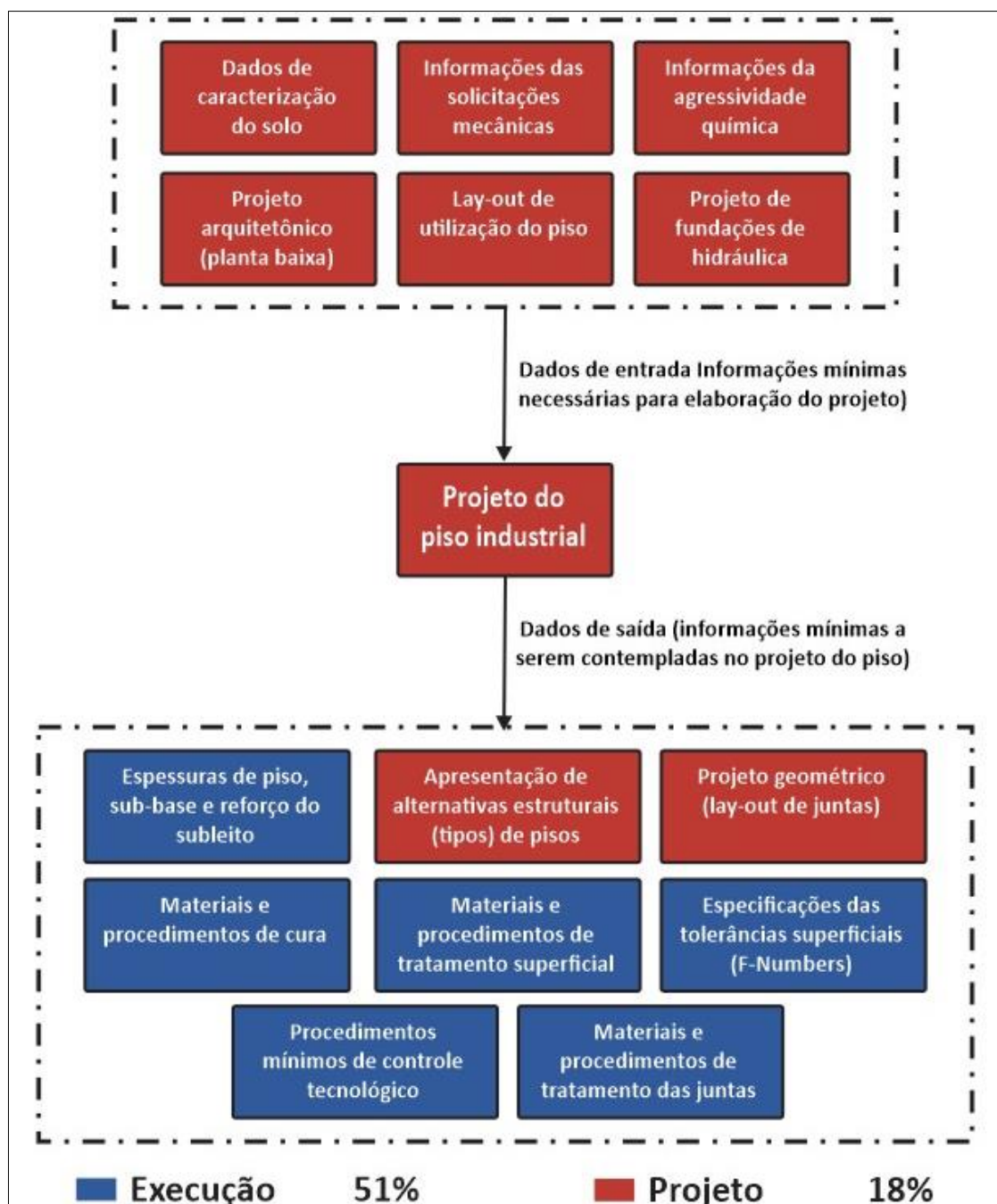


Figura 26. Fluxograma de informações para elaboração dos pisos industriais (CHODOUNSKY, 2007).

As etapas executivas a serem seguidas, objetivando a diminuir a fissuração:

- a) Análise do terreno de fundação;
- b) Terraplenagem e compactação;

- c) Definição do tipo de concreto a ser usado;
- d) Dimensionamento das placas de concreto;
- e) Concretagem do piso;
- f) Lançamento;
- g) Adensamento;
- h) Acabamento Superficial;
- i) Cura do Concreto;
- j) Cura inicial;
- k) Cura complementar;
- l) Cortes das juntas;
- m) Tratamento das juntas.

2.6.3. Análise do terreno de fundação, terraplenagem e compactação

O pavimento industrial é como a fundação, também transmite esforços ao solo. A diferença é que na grande maioria das vezes, o próprio terreno de fundação é preparado para receber o pavimento industrial. Portanto o estudo do solo para pavimentos industriais torna-se uma disciplina que exige conceitos da engenharia de fundações. Por exemplo, a existência de solos moles à determinada profundidade não é tolerada para fundações diretas, dependendo da magnitude dos carregamentos e propriedades dessa camada, pode não ser aceita para pavimentos industriais.

Assim sendo, no dimensionamento dos pavimentos industriais, necessita-se, ter o conhecimento da camada superficial do solo, obtido através de ensaios de índices físicos, e do coeficiente de recalque (k), ou módulo resiliente (M_r), bem como do conhecimento das camadas mais profundas, obtidas na sua forma mais elementar pelas sondagens (SPT).

Como os solos são muito diferentes entre si, respondendo de maneira variável às solicitações aplicadas, torna-se necessário o estudo sistemático de suas propriedades e, principalmente, da observação do seu comportamento.

A preparação do subleito tem o objetivo de chegar à compactação que o projeto exige (Figura 27). Em alguns casos é necessário o reforço do subleito, acontece quando o material não atende as condições mínimas exigidas pelo projeto. A correção do subleito é feita com a adição de materiais granulares, estabilizantes químicos ou cimento a fim de satisfazer a exigência do projeto.



Figura 27. Preparação de subleito (ROMERO, 2016).

Segundo Schmid (1997), “O sucesso de qualquer piso ou pavimento, depende fundamentalmente do desempenho e uniformidade da sua fundação”. A sub-base é a camada de fundação do piso ou pavimento, devendo criar uniformidade de suporte e absorver as tensões geradas no pavimento. Outra finalidade da sub-base é evitar o fenômeno do bombeamento. Os finos plásticos podem existir no solo da fundação e se manifestar em presença da água em excesso e de cargas pesadas, eliminar os efeitos de mudanças volumétricas dos solos do subleito e criar uniformidade de suporte para o piso ou pavimento,

ocasionando recalques provenientes deste fenômeno o que fatalmente provocarão fissuras.

O coeficiente de recalque k pode ser definido como a pressão que provoca o recalque unitário e geralmente é medido em $\text{kgf/cm}^2/\text{cm}$. A determinação deste coeficiente é feita através da execução de prova de carga, conforme método de ensaio do DNIT 055/2004. Economicamente, é interessante que a sub-base tenha um k elevado, pois com isto diminui a espessura da placa de concreto, camada mais nobre, de maior custo inicial. A sub-base deverá ser executada de acordo com as especificações de projeto, atendendo aos requisitos de nivelamento, grau de compactação, teor de umidade e CBR especificados. Esta deverá ser executada de modo a prevenir os fenômenos de expansibilidade e de bombeamento. As sub-bases podem ser granulares ou tratadas com ligantes hidráulicos. São os seguintes os tipos mais usuais de sub-bases:

- a) Brita graduada simples (BGS);
- b) Brita graduada tratada com cimento (BGTC);
- c) De solo cimento (SC);
- d) De solo melhorado com cimento (SMC);
- e) De concreto rolado (CR) (Figura 28).



Figura 28. Sub-base de concreto (ROMERO, 2016).

2.6.4. Constituintes do concreto

Tendo estabelecidos os esforços que atuaram nas placas de concreto do pavimento (momentos) é possível determinar a espessura e taxas de armaduras capazes de resistir tais esforços, distribuindo-os ao solo preparado e estudado. A espessura é inicialmente decidida e a partir dela, determina-se a armação – simples ou dupla – necessária para atingir a capacidade estrutural requerida.

Até há pouco tempo, somente havia modelos de dimensionamento para determinação da armadura inferior, enquanto que a superior era considerada apenas como armadura de retração e decidia-se por meio de processos empíricos, uma determinada capacidade. Podendo atualmente determiná-la por processos de cálculo precisos. Havendo dois processos distintos de se determinar as armaduras do piso: apenas superior ou dupla (RODRIGUES, FARIA E SILVA, 2015).

2.6.5. Concretagem do piso

A concretagem é a etapa de especial atenção, pois é no seu desempenho final que serão associadas diversas manifestações patológicas, como as baixas resistências à abrasão, fissuração, a qual é a razão deste trabalho, dentre outras de também relevâncias: delaminação, texturas incorretas, baixos níveis de planicidade e nivelamento, etc.

2.6.6. Mistura do concreto

O quadro atual brasileiro é de utilização de concreto usinado, principalmente em obras de porte consideráveis como são as obras industriais. O mercado da construção indica que cada vez menos serão empregados concretos produzidos na obra.

O meio mais utilizado para concretagem de pisos industriais são caminhões betoneiras.

2.6.7. Lançamento do concreto

O lançamento do concreto em pisos é em geral uma operação relativamente simples, já que os equipamentos podem quase sempre atingir diretamente o local de aplicação. Por exemplo, caminhões betoneiras podem lançar diretamente na pista. As bombas também podem ser empregadas no lançamento, sendo preferíveis as do tipo lança que apresentam maior versatilidade e capacidade de lançamento. Embora simples, as operações de lançamento podem alterar substancialmente o desempenho do piso, visto que frequentemente são observados defeitos advindos da alteração da posição original da armadura. Deve-se, portanto, tomar cuidado nessa fase, não permitindo o trânsito de operários por sobre a armadura durante os trabalhos (Figura 29), municiando-os com ferramentas adequadas para que possam espalhar o concreto externamente à região.



Figura 29. Trânsito de operário sobre a armadura (GRANATO, 2014).

O espalhamento deve ser uniforme e em quantidade tal que, após o adensamento, sobre pouco material para ser removido, facilitando os trabalhos com a régua vibratória (ROMERO, 2016).

2.6.8. Adensamento do concreto

O adensamento é um processo que tem como função retirar ou reduzir ao máximo os vazios do concreto de maneira a conferir a este maior resistência mecânica e acomodar o concreto nas formas e por entre as armaduras. Porém, se for demasiadamente adensado, produz segregação da mistura, gerando uma heterogeneidade da resistência mecânica (HIRAICHI *et al.*, 2017).

As grandes áreas dos pisos aliadas as suas baixas espessuras sugerem que o adensamento do concreto deva ser feito com o emprego de réguas vibratórias. Essa operação é facilitada pela própria natureza do piso, que é desprovida de elementos complicadores, como taxas elevadas de armadura ou locais pouco acessíveis. Os vibradores de imersão podem e devem ser empregados em pisos, consorciados com as réguas. A ABNT NBR 6118:2003 alerta que devemos deixar espaço entre as armaduras para passagem dos vibradores de imersão, garantindo assim o perfeito adensamento do concreto. As réguas vibratórias são, como já mencionado, bastante adequadas aos serviços, dispondo-se de boa diversidade desses equipamentos. As mais adequadas são as produzidas com ligas leves, o que torna fácil o manuseio do equipamento. Finalmente, com os lançamentos que podem ser considerados automatizados, devem-se citar os equipamentos denominados Laser Screed, que espalham, vibram e dão um primeiro acabamento, similar à da régua vibratória, que permitem grande produtividade, variando de 1.500 m² a 3.000 m² por dia de trabalho (Figura 30).

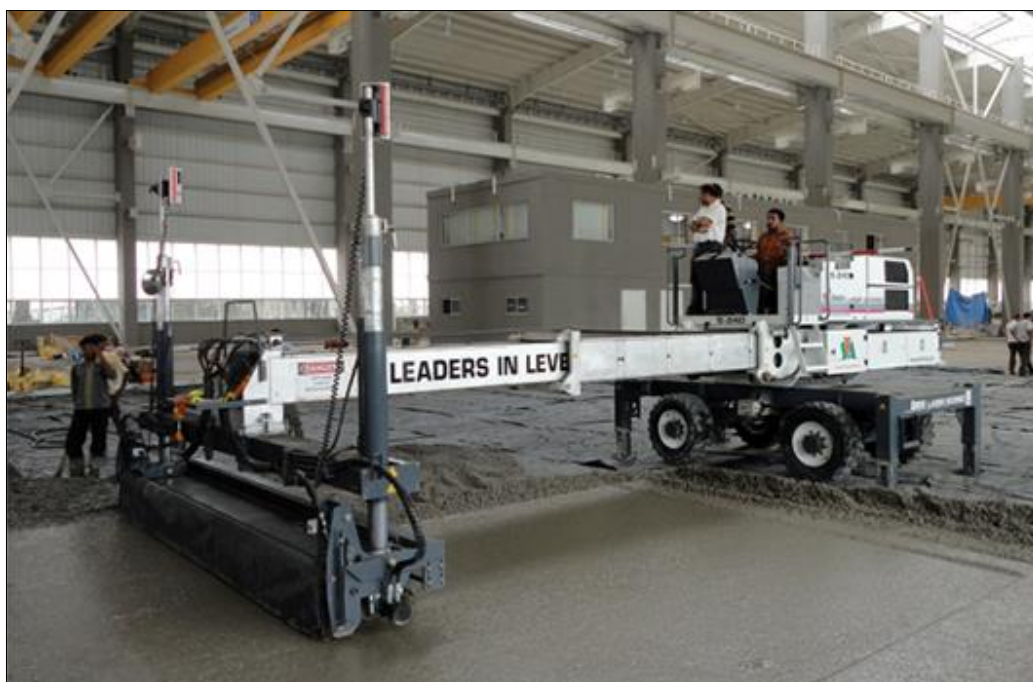


Figura 30. Equipamento do tipo Laser Screed (AQUARIUS TECH, 2017).

2.6.9. Acabamento superficial

A superfície do pavimento é a principal fonte de medida do seu desempenho, pois é ela que estará em contato com todas as ações solicitantes. Podem-se dividir os pavimentos de concreto em dois grandes grupos: os de camada única, onde o próprio concreto da laje funciona como revestimento, e os com revestimento, muitas vezes impropriamente chamados de revestimentos de alta resistência, que podem ser executados por dois procedimentos distintos, denominados úmido-sobre-úmido e úmido-sobre-seco. O fato de o piso ser executado em camada única não significa necessariamente que vá possuir menor resistência ao desgaste que o outro tipo. Na realidade, são largamente empregados e dependendo do tipo do concreto e do tratamento a que foram submetidos, podem dar origem a pisos com alta resistência ao desgaste, com uma série de vantagens adicionais sobre o sistema de dupla camada. Da mesma forma, os pisos com revestimento não possuem necessariamente alta resistência, cada vez menos empregados, mas podendo ser úteis quando a solicitação

preponderante é abrasiva e as cargas baixas. No sistema úmido-sobre-úmido, ou simplesmente úmido, a camada de acabamento é lançada quando o concreto ainda se encontra no estado fresco, enquanto no úmido-sobre-seco, ou simplesmente seco, o concreto se encontra em fase de endurecimento adiantada (RODRIGUES & LIGÓRIO, 1985). Na opção pelo sistema duplo, recomenda-se a adoção do úmido, uma vez que é mais garantida a aderência das duas camadas: concreto e revestimento. No sistema seco, é necessária a adoção de uma camada de ligação, confeccionada com argamassa de consistência seca, fonte frequente de problemas, como o descolamento entre as camadas. Sob o ponto de vista executivo do acabamento, tanto o sistema simples como o duplo usam os mesmos equipamentos básicos. Neste trabalho será tratado apenas o primeiro caso. Entretanto com poucas modificações, pode ser empregado no sistema duplo. A alternativa que vem sendo empregada com bastante sucesso para incrementar a resistência abrasiva é a aspersão de agregados de alta dureza - tanto de origem mineral como metálica - na superfície de concreto, em taxas que variam de 4 kg/m^2 a 8 kg/m^2 preferencialmente com adição de certa porcentagem de cimento- variando de 15% a 30% - misturado na própria obra ou empregando-se produtos industrializados, que são fornecidos já misturados aos agregados, cimento, aditivos e até mesmo corantes.

A regularização da superfície do concreto é fundamental para a obtenção de um piso com bom desempenho em termos de planicidade. Essa operação, embora aparentemente simples, precisa ser executada com esmero e habilidade. O desempenho mecânico do concreto (*floating*) é executado com a finalidade de embeber as partículas dos agregados na pasta de cimento, remover protuberâncias e vales e promover o adensamento superficial do concreto. Para a sua execução, a superfície deverá estar suficientemente rígida e livre da água superficial de exsudação. A operação mecânica pode ser executada quando o concreto suportar o peso de uma pessoa, deixando uma marca entre 2 a 4 mm de profundidade. Os equipamentos empregados são geralmente as acabadoras de

superfície, simples ou duplas, com diâmetro entre 90 e 120 cm, acopladas com discos de acabamento ou pás, acionados por motor a explosão (Figura 31).



Figura 31. Acabadoras de superfície dupla e simples (ROMERO, 2016).

O desempenho deve ser executado com planejamento, de modo a garantir a qualidade da tarefa. Ele deve ser sempre ortogonal à direção da régua vibratória ou do sarrafeamento e deve obedecer sempre à mesma direção. Cada passada deve sobrepor-se em 50% à anterior. O alisamento superficial ou desempenho fino (*troweling*) é executado após o desempenho, para produzir uma superfície densa, lisa e dura. Normalmente, são necessárias duas ou mais operações para garantir o resultado final, dando tempo para que o concreto possa gradativamente enrijecer-se. O equipamento é o mesmo empregado no desempenho mecânico, com a diferença de que as lâminas são mais finas, com cerca de 150 mm de largura. O alisamento deve iniciar-se na mesma direção do desempenho, mas a segunda passada deve ser transversal a esta, alternando-se nas operações seguintes. Na primeira passada, a lâmina deve estar absolutamente plana e de preferência já usada, que possui os bordos arredondados; nas seguintes, deve-se aumentar gradativamente o ângulo de inclinação, de modo que

aumente a pressão de contato à medida que o concreto vai ganhando resistência (Figura 32).



Figura 32. Desempeno superficial (ROMERO, 2016).

2.6.10. Cura do concreto

Segundo Mehta e Monteiro (2008), o termo cura do concreto envolve uma combinação de condições que promovem a hidratação do cimento, como tempo, temperatura e umidade, consideradas imediatamente depois do lançamento de uma mistura de concreto na fôrma.

A uma dada relação água/cimento, a porosidade de uma pasta de cimento hidratada é determinada pelo grau de hidratação do cimento. Sob condições normais de temperatura, alguns dos componentes constituintes do cimento começam a se hidratar logo que a água é adicionada, mas as reações de hidratação se desaceleram consideravelmente quando os produtos da hidratação cobrem os grãos de cimento anidro. Isso ocorre porque a hidratação pode se processar satisfatoriamente apenas sob condições de saturação; quase se interrompe quando a pressão de vapor de água nos capilares cai abaixo de 80% da umidade de saturação. Tempo e umidade são, portanto, fatores importantes no processo de hidratação controlado pela difusão de água. Adicionalmente, como

todas as reações químicas, a temperatura tem um efeito acelerador nas reações da hidratação (MEHTA E MONTEIRO, 2008).

Tempo: deve-se notar que as relações tempo-resistência na tecnologia do concreto, normalmente, adotam condições normais de cura úmida e temperatura. A uma dada relação água/cimento, quanto mais longo o período de cura, maior a resistência (Gráfico 4), assumindo-se que a hidratação de partículas de cimento anidro ainda está em curso. Nos elementos de concreto, se a água se perde por evaporação nos capilares, as condições de cura ao ar prevalecem, e a resistência não aumentará com o tempo (Gráfico 5) (MEHTA E MONTEIRO, 2008).

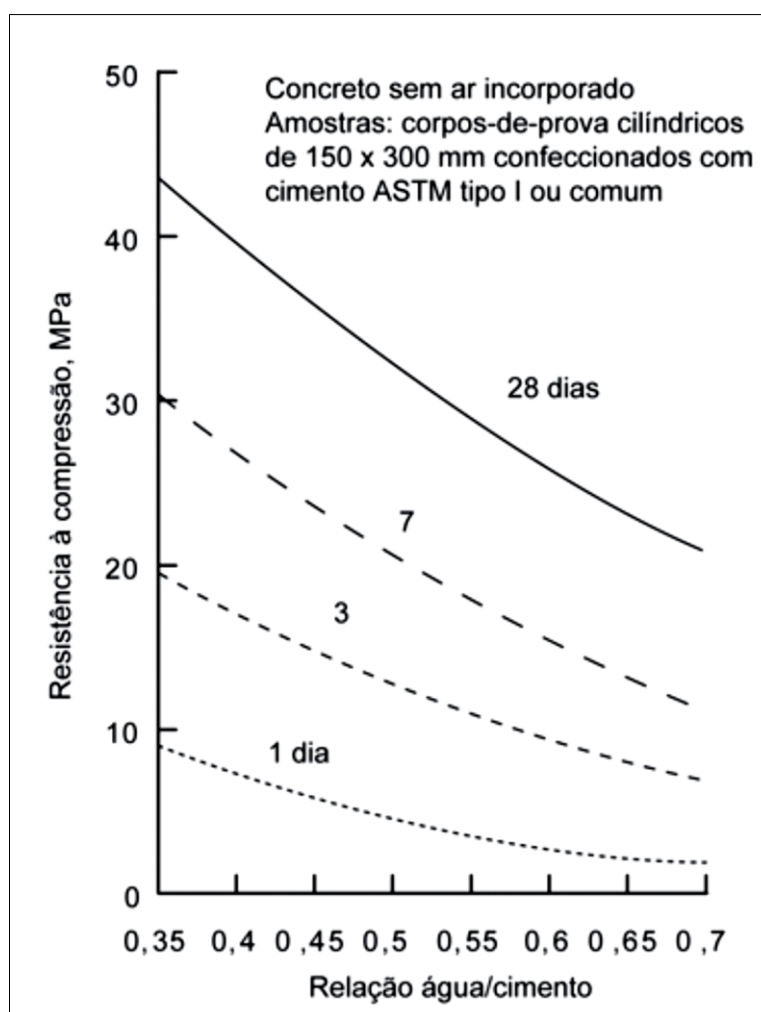


Gráfico 4. Influência da relação água/cimento e idade de cura úmida sobre a resistência do concreto (MEHTA E MONTEIRO, 2008).

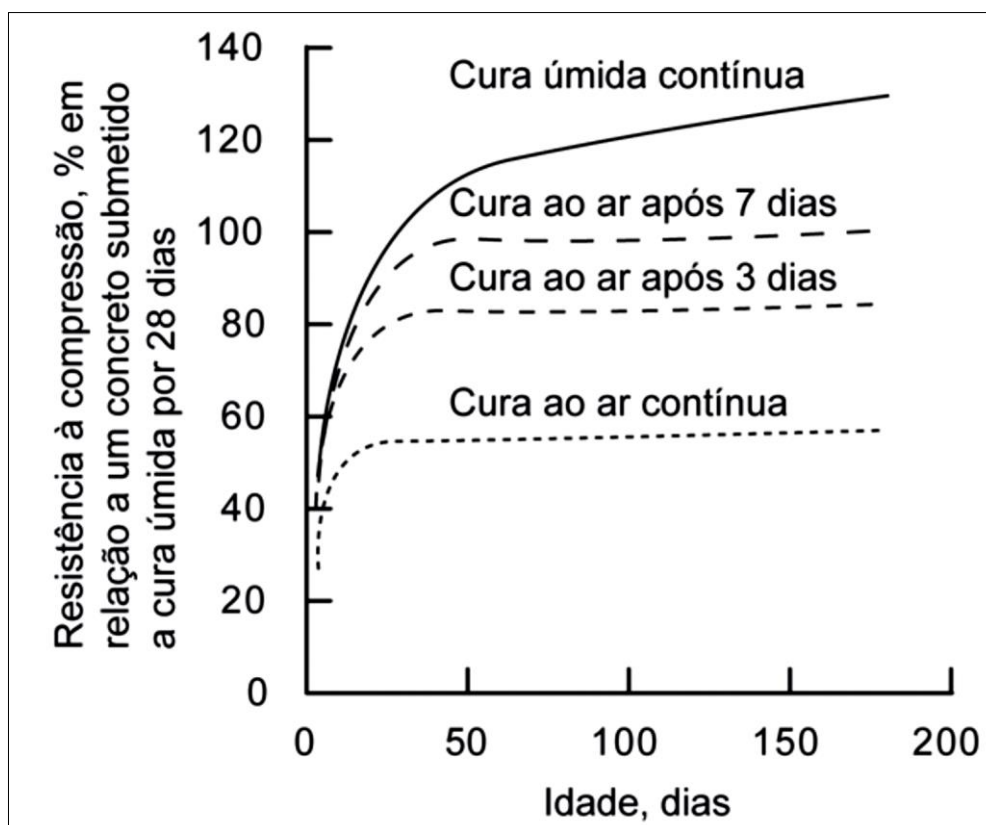


Gráfico 5. Influência das condições de cura sobre a resistência do concreto (MEHTA E MONTEIRO, 2008).

Segundo Mehta e Monteiro (2008), a avaliação da resistência à compressão com o tempo é uma grande preocupação dos engenheiros de estruturas. O ACI Committee 209 recomenda, para concreto com cura úmida feito com cimento comum (ASTM Type I), a seguinte relação:

$$f_{cm}(t) = f_{c28} \left(\frac{t}{4+0,85t} \right) \quad (3)$$

Para corpos-de-prova curados a 20°C, o Código Modelo CEB-FIP (1990) sugere a seguinte relação:

$$f_{cm}(t) = \exp \left(s \left(1 - \sqrt{\frac{28}{t/t_1}} \right) \right) f_{cm} \quad (4)$$

Onde:

$f_{cm}(t)$ = resistência média à compressão com idade de t dias;

f_{cm} = resistência média à compressão aos 28 dias;

s = coeficiente relacionado ao tipo de cimento, como $s = 0,20$ para cimentos de alta resistência inicial; $s = 0,25$ para cimentos de endurecimento normal; $s = 0,38$ para cimento de endurecimento lento;

$t_1 = 1$ dia.

Umidade: a influência da umidade da cura na resistência do concreto fica clara nos dados do Gráfico 5, a qual mostra que, após 180 dias a uma dada relação água/cimento, a resistência de um concreto de cura úmida contínua foi três vezes maior do que a resistência de um concreto de cura contínua ao ar. Além do mais, provavelmente como resultado de microfissuração na zona de transição na interface causada pela retração de secagem, uma leve redução da resistência ocorre em elementos delgados de concreto submetidos à cura úmida quando são sujeitos à secagem ao ar. A taxa de perda de água do concreto antes do lançamento depende não apenas da relação superfície/volume do elemento do concreto, mas também da temperatura, umidade relativa e velocidade do ar do ambiente (MEHTA E MONTEIRO, 2008).

Um período mínimo de sete dias de cura úmida é geralmente recomendado para um concreto contendo cimento comum. Obviamente, com misturas de concreto contendo também um cimento composto ou adição mineral, um período de cura maior é desejável, para assegurar a contribuição da reação pozolânica na resistência. Obtém-se a cura úmida com aspersão de água, ou molhagem, ou cobertura da superfície do concreto com areia, serragem ou mantas de algodão molhados. Uma vez que a quantidade de água de amassamento usada na mistura de concreto é normalmente maior do que a necessária para a hidratação do cimento (estimada em cerca de 30% da massa do cimento), a aplicação apropriada de uma membrana impermeável logo após o lançamento do concreto é uma maneira aceitável para manter o desenvolvimento

da resistência a uma velocidade satisfatória. Entretanto, a cura úmida deve ser o método preferencial quando for importante controlar a fissuração devido à retração autógena ou retração térmica (MEHTA E MONTEIRO, 2008).

Temperatura: em concreto submetido a cura úmida, a influencia da temperatura na resistência depende do histórico tempo-temperatura da moldagem e cura. Isso pode ser bem ilustrado com a ajuda de três casos: concreto moldado e curado à mesma temperatura; concreto moldado a diferentes temperaturas, mas curado à temperatura normal; e concreto moldado à temperatura normal, mas curado a diferentes temperaturas (MEHTA E MONTEIRO, 2008).

Na faixa de temperatura entre 5° e 46°C, quando o concreto é moldado e curado a uma temperatura constante específica, observa-se, geralmente, que até os 28 dias quanto maior a temperatura, mais rápida é a hidratação do cimento e há um ganho na resistência. Os dados do Gráfico 6 evidenciam que a resistência aos 28 dias dos corpos-de-prova moldados e curados a 5°C ficou a cerca de 80% da resistência dos moldados e curados entre 21 e 46°C. Em idades mais avançadas, quando as diferenças entre graus de hidratação do cimento desaparecem, o mesmo se dá com as diferenças na resistência do concreto. Por outro lado, como se explica abaixo, observou-se que quanto mais alta a temperatura de moldagem e cura, menor será a resistência final (MEHTA E MONTEIRO, 2008).

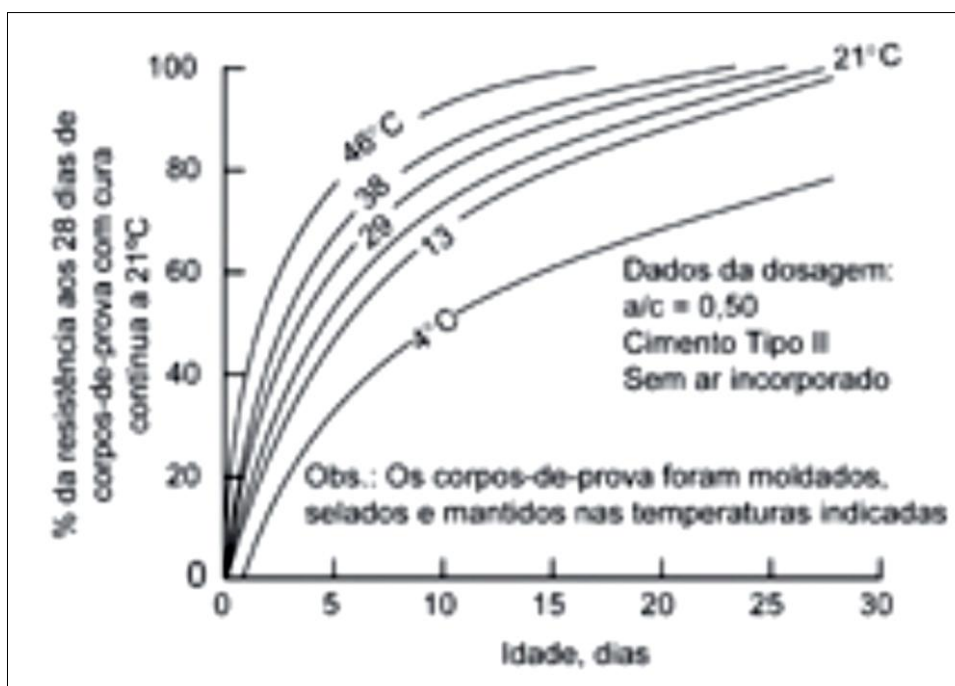


Gráfico 6. Concretos moldados e curados a uma temperatura constante específica (MEHTA E MONTEIRO, 2008).

Os dados do Gráfico 7 representam um histórico de diferentes tempos e temperaturas de moldagem e cura. A temperatura de moldagem (isto é, a temperatura durante as primeiras duas horas da produção do concreto) variou entre 10° e 46°C; depois disso, todas as misturas de concreto tiveram cura úmida a temperatura constante de 21°C. Os dados mostram que as resistências finais (180 dias) do concreto moldado a 5 ou 13°C eram maiores do que aqueles moldados a 21, 30, 38 ou 46°C. A partir de estudos microscópicos, muitos pesquisadores concluíram que, com moldagem a baixa temperatura, uma microestrutura relativamente mais uniforme da pasta de cimento hidratada (especialmente a distribuição de tamanho de poros) contribui para uma resistência maior (MEHTA E MONTEIRO, 2008).

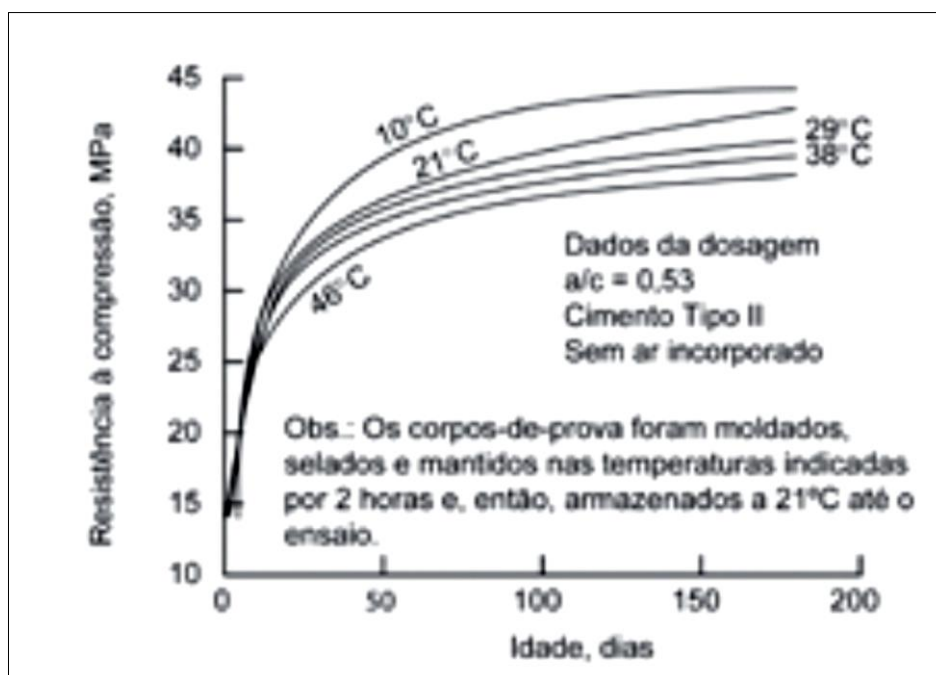


Gráfico 7. Diferentes tempos e temperaturas de moldagem e cura (MEHTA E MONTEIRO, 2008).

Com misturas de concreto moldadas a 21°C e, subsequentemente, curadas a diferentes temperaturas, desde abaixo de zero até 21°C, o efeito da temperatura da cura na resistência é ilustrado no Gráfico 8. Em geral, quanto menor a temperatura de cura, menor a resistência até 28 dias. A uma temperatura de cura próxima do congelamento, a resistência aos 28 dias é cerca de metade da resistência do concreto curado a 21°C; quase não se desenvolve qualquer resistência à temperatura de cura abaixo de zero. Uma vez que as reações de hidratação dos componentes do cimento são lentas, parece que níveis de temperatura adequados devem ser mantidos por tempo suficiente para atender a energia de ativação necessária para que as reações se iniciem. Isso permite que o processo de desenvolvimento da resistência, que é associado ao preenchimento progressivo dos vazios com produtos de hidratação, transcorra sem problemas (MEHTA E MONTEIRO, 2008).

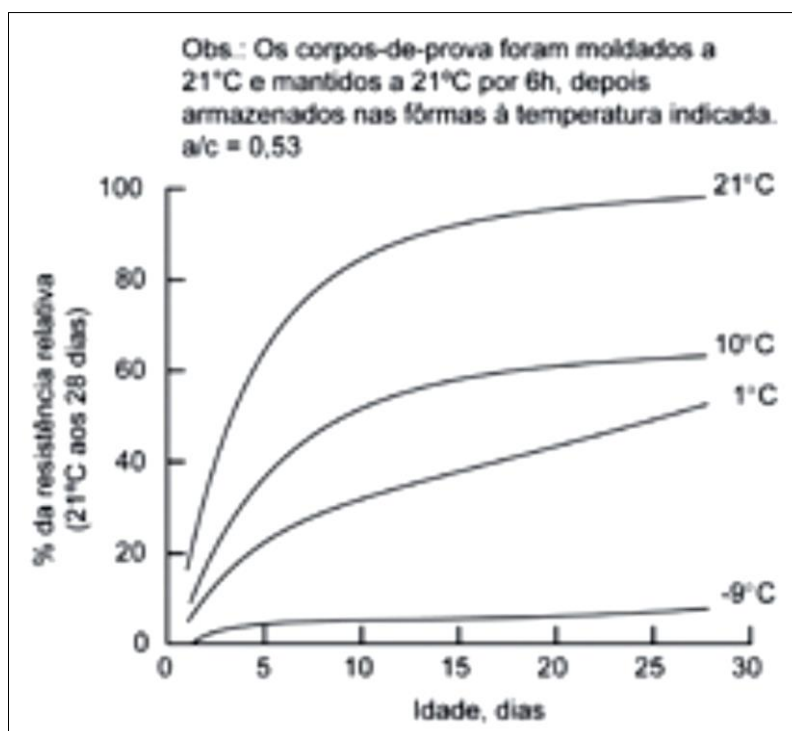


Gráfico 8. Efeito da temperatura da cura na resistência do concreto (MEHTA E MONTEIRO, 2008).

A influência do histórico tempo-temperatura na resistência do concreto tem muitas aplicações importantes na prática da construção em concreto. Uma vez que a temperatura de cura é bem mais importante para a resistência do que a temperatura de lançamento, misturas de concretos comuns que são lançadas em clima frio devem ser mantidas acima de certa temperatura mínima por um período de tempo suficiente. Para um concreto curado no verão ou em clima tropical, pode-se esperar resistência inicial maior, mas uma resistência final menor do que o mesmo concreto curado no inverno ou em clima mais frio (MEHTA E MONTEIRO, 2008).

2.6.11. Cortes das juntas

As juntas ou cortes de pisos de concreto são onde se encontram o elo mais fraco de todo o processo de execução e também onde ocorrem as principais manifestações patológicas.

Por isso, a tendência é de efetuar projetos com quantidade cada vez menor de juntas. Entretanto, em função de limitações executivas, equipamentos disponíveis, índices de planicidade e nivelamento necessários, as juntas são sempre necessárias.

As juntas serradas devem ser cortadas assim que o concreto tenha resistência suficiente para tal, sem que haja quebras nas bordas. O tempo em que isso ocorre é bastante variável, dependendo do tipo do concreto, velocidade de hidratação do cimento e da temperatura ambiente, mas normalmente se dá entre 12 a 18 horas.

Com o passar dos anos, o aumento dos carregamentos e, conseqüentemente, das tensões nos pavimentos industriais vem preocupando os profissionais da área. Soluções de dimensionamento têm sido estudadas, porém todas elevam a responsabilidade das juntas, pelo fato de que o aumento das cargas leva ao aumento das tensões nas juntas e das deformações dos pavimentos industriais. Várias alternativas para elevar a eficiência nas transferências de carga entre placas de concreto foram experimentadas, tais como: espessamento das bordas das placas, juntas com encaixes do tipo macho-e-fêmea com ou sem barras de ligação, aumento da capacidade de suporte da sub-base, juntas com utilização de barras de transferência ou barras de ligação e outras.

Todo pavimento industrial em concreto está sujeito a tensões devido a diversas causas, como retração do concreto, retrações e dilatações causadas por variações térmicas ou higrotérmicas, empenamento das placas e carregamento - seja ele estático (cargas distribuídas ou pontuais, como as de prateleiras) ou móvel (empilhadeiras de rodas pneumáticas ou rígidas). Parte dessas tensões provoca uma sensível redução da vida útil do pavimento, caso não sejam devidamente consideradas. O projeto deve prever dispositivos, detalhes construtivos, reforços estruturais e especificações de materiais adequados a cada tipo de solicitação.

Dentre estes dispositivos ou detalhes construtivos estão as juntas, definidas como um “detalhe construtivo que deve permitir as movimentações de retração e dilatação do concreto e a adequada transferência de carga entre placas contíguas, mantendo a planicidade, assegurando a qualidade do piso e o conforto de rolamento”. É importante ressaltar que as juntas devem permitir a adequada transferência de carga entre placas contínuas.

Quando se tem uma carga na proximidade da borda, existe uma deformação natural da placa de concreto do piso proporcional à magnitude da carga, espessura da placa, módulo de elasticidade dos materiais envolvidos e condições de suporte da placa, gerando a descontinuidade da superfície do piso, alterando as condições de rolamento conforto e segurança.

A recomendação prática para placas de concreto simples é de que a relação entre largura e comprimento seja de 1:1,5. Existem organismos internacionais que sugerem placas ainda menores, como, por exemplo, a relação de 1:1,25, ou seja, para placas com largura de 3,6 m têm-se comprimentos de 4,5 m. Para os pavimentos armados esta relação fica por conta das questões executivas.

Para os pisos industriais, poucos são os tipos de juntas necessárias para que se tenha sucesso na realização da obra. As juntas podem ser classificadas em:

- a) Junta longitudinal de construção (JC);
- b) Junta serrada (JS);
- c) Junta de expansão (JE).

2.6.11.1. Junta longitudinal de construção (JC)

São as juntas construtivas de um pavimento, sendo que o seu espaçamento está limitado pelo tipo de equipamento utilizado, geometria da área e índices de planicidade a serem obtidos.

As juntas de construção podem possuir encaixes do tipo macho-e-fêmea ou utilizar barras de transferência. As do tipo macho-e-fêmea têm sido menos empregadas devido à sua baixa capacidade de transferência de carga, dificuldades executivas e, principalmente, grande ocorrência de fissuras próximas das bordas (RODRIGUES & CASSARO, 1998). Este tipo de dispositivo de transferência de carga (ACI, 1996) não deve ser utilizado para pisos com espessura menor do que 15 cm.

2.6.11.2. Juntas serradas (JS)

O processo construtivo utilizado atualmente prevê a concretagem em faixas limitadas em sua largura pelas juntas longitudinais de construção. Logo após o processo de acabamento do concreto, deve-se iniciar o corte das juntas transversais de retração, também conhecidas como juntas serradas. Um grande desafio das empresas que executam este tipo de obra é a determinação do melhor momento de início deste processo. Em geral, este tempo é cerca de 10 horas após o lançamento do concreto, porém, existe uma grande variação, de acordo com o tipo de cimento, temperatura ambiente, relação água/cimento, tipos e dosagem de aditivos, ventos e outros fatores externos.

O corte deve ter (RODRIGUES & CASSARO, 1998) profundidade da ordem de 1/3 da espessura da placa, recomendando-se no mínimo 40 mm.

2.6.11.3. Juntas de expansão (JE)

As juntas de expansão são fundamentais para isolar o piso das outras estruturas, como vigas-baldrames, blocos de concreto, bases de máquinas ou outras. Esta é uma premissa que faz com que o piso trabalhe independente das outras estruturas existentes. Nos casos de pilares e pequenas aberturas nos pisos,

normalmente se utiliza a solução apresentada na Figura 33, também conhecida como junta tipo diamante.

A utilização de junta de expansão entre placas, também conhecida como junta de dilatação (JD), não é usual em pisos industriais, ocorrendo apenas em situações especiais, como mudança de direção de tráfego, fato comum em docas de recebimento de materiais. Este detalhe construtivo é muito semelhante ao da junta de construção, sendo necessário prever um capuz no final da barra de transferência com folga aproximada de 20 mm.

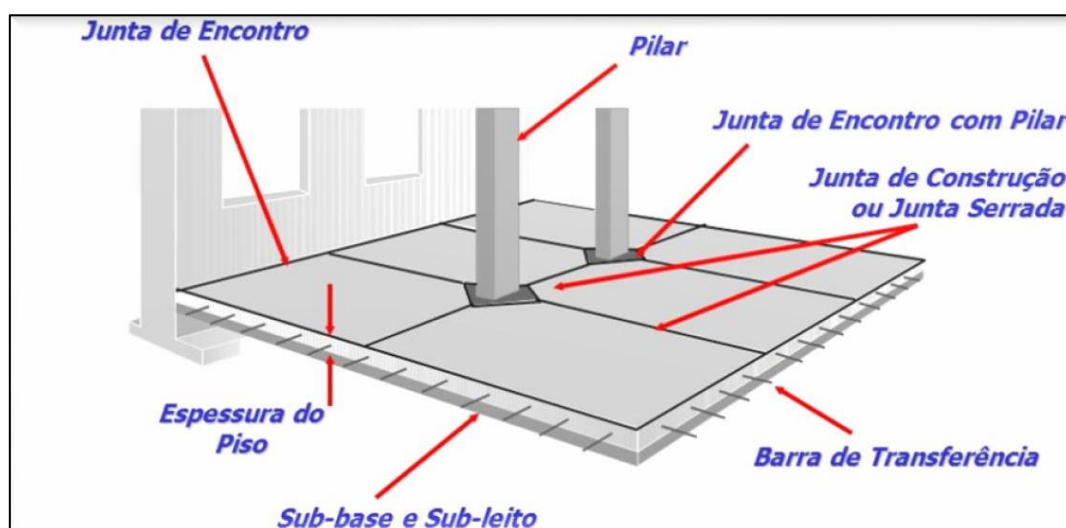


Figura 33. Componentes do piso (ABECE, 2017).

2.6.12. Barras de transferência

As barras de transferência têm o seu desempenho ditado por dois parâmetros principais: o espaçamento e o diâmetro das barras; secundariamente, é função também da abertura da junta. É prática comum o emprego do espaçamento fixo, geralmente 30 cm, e diâmetro conforme a espessura do piso (RODRIGUES & CASSARO, 1998). Entretanto, deve-se lembrar que o seu estabelecimento foi feito com base em pisos e pavimentos de concreto simples, isto é, aqueles em que os esforços atuantes são resistidos apenas pela resistência à tração na flexão do concreto.

As juntas dos pisos industriais devem obedecer a pelo menos um dos seguintes requisitos, em relação ao projeto:

- a) As barras de transferência devem ser posicionadas de modo que a variação do espaçamento entre elas difira no máximo 25 mm;
- b) A tolerância no posicionamento das barras de transferência em relação ao plano médio da placa de concreto poderá ser de + ou - 7 mm;
- c) O alinhamento das juntas construtivas não deve variar mais do que 10 mm ao longo de 3 m;
- d) Nas juntas serradas, a profundidade do corte não deve variar mais do que 5 mm com relação à profundidade.

Segundo Botelho (2016), deve-se ter um cuidado especial com o recobrimento, pois a ABNT NBR 6118:2003 fixa o valor mínimo dessas coberturas em função da agressividade do meio ambiente em volta. Os ambientes foram divididos e classificados conforme a Tabela 4.

Esta camada de cobertura do concreto deve ser garantida por espaçadores e cuidados de obra (minimizar a circulação de pessoas em cima da armadura). As exigências da norma para cobertura mínima da armadura são, em função do ambiente, mostradas na Tabela 5.

Classe de agressividade ambiental	Agressividade	Classificação geral do tipo de ambiente para efeito de projeto	Risco de deterioração da estrutura
I	Fraca	Rural ou submersa	Insignificante
II	Moderada	Urbana	Pequeno
III	Forte	Marinha, industrial	Grande
IV	Muito forte	Industrial, respingos de maré	Elevado

Tabela 4. Ambientes de agressividade (NBR 6118, 2003).

	I	II	III	IV
Laje	20 mm	25 mm	35 mm	45 mm
Vigas e pilares	25 mm	30 mm	40 mm	50 mm

Tabela 5. Cobertura mínima da armadura (NBR 6118, 2003).

3. CONSIDERAÇÕES FINAIS E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Este capítulo apresenta as considerações finais a respeito da revisão bibliográfica realizada e recomendações para pesquisas futuras.

3.1. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A construção dos pisos/pavimentos industriais deve ser realizada por mão-de-obra especializada, provida de máquinas e equipamentos adequados para a execução e conter a quantidade necessária para operar o trabalho, tudo isso mantendo as qualidades nas atividades.

O projeto é de total relevância na prevenção das manifestações patológicas, pois através dos levantamentos e processamentos dos dados colhidos no local da construção e o total conhecimento da finalidade da atividade comercial ou industrial exercida pelo empreendimento, possibilita prever os esforços solicitantes, fornecendo dados necessários para os cálculos estruturais, para o planejamento da logística da obra e na adoção de medidas e soluções preventivas no combate ao surgimento das fissuras.

Como visto nos capítulos anteriores, tudo começa pelo projeto que identifica todas as solicitações possíveis exigidas ao piso, bem como a análise do terreno, solo (sub-base e subleito).

Dados a serem analisados e ações a serem tomadas:

- a) Realizar sondagem (SPT) para exploração e reconhecimento do solo onde será executado o piso/pavimento de concreto. Com isso, é possível classificá-lo, determinar sua capacidade de carga, coeficiente de recalque (k), Índice de Suporte Califórnia (CBR), e o nível de água (NA), anotando a data em função da variação por ocorrência do período de chuvas;

- b) Elaborar um bom projeto estrutural e executivo do pavimento de concreto, realizado através do detalhamento do tráfego dos veículos, máquinas, equipamentos e pessoas que se beneficiarão do piso;
- c) Preparar o subleito, chegando à compactação que o projeto especifica. Em alguns casos é necessário o reforço do subleito, quando o material não atende as condições mínimas exigidas pelo projeto;
- d) Executar a sub-base de modo a prevenir os fenômenos de expansibilidade e de bombeamento;
- e) Cobrir a área da sub-base com lona plástica (barreira de vapor), o que evita que a umidade ascendente chegue até o concreto, garante a livre movimentação das placas em relação à sub-base, e evita a perda de água de amassamento;
- f) Dosar adequadamente o concreto, pesquisando e estudando o comportamento de cada material da sua composição. Através dessa análise, especificar os materiais a serem utilizados na obra;
- g) Uso de uma dosagem adequada, empregando o mínimo de água, para obter a consistência necessária ao lançamento. Se necessário utilizar aditivos polifuncionais;
- h) Definir os equipamentos a serem utilizados, prestando a atenção na logística destes equipamentos e respeitando o cronograma das atividades;
- i) Não permitir o trânsito de operários por sobre a armadura durante os trabalhos de concretagem. Isso evita o seu deslocamento da posição original;

- j) Realizar o adensamento no concreto lançado na obra, para retirar ou reduzir ao máximo seus vazios e conferir a este maior resistência;
- k) Realizar a cura do concreto, a fim de evitar a sua fissuração.
- l) Ficar atento à umidade do ar, temperatura ambiente, ventos e temperatura do concreto;
- m) Utilização de juntas na prevenção da fissuração, combatendo as variações higrotérmicas (movimentação causada pelas ações da umidade e da temperatura “tração e retração”), induzindo fissurações localizadas e auxiliando o processo executivo de concretagem das placas;
- n) Estratégias de controle do calor de hidratação passam pela refrigeração do concreto, uso de aditivos plastificantes e retardadores, e o monitoramento da temperatura durante a dosagem, aplicação e cura.

Cuidados e soluções necessárias com o concreto:

- a) Utilizar água fria ou gelo para a produção do concreto;
- b) Estocar os agregados na sombra fazer aspersão com água (podendo ser até reciclada);
- c) Conservar as fôrmas e a base da concretagem protegidas do sol;
- d) Concretar em horários menos quentes, durante a tarde;
- e) Aplicar cura química imediatamente após o lançamento;
- f) Iniciar a cura com água o mais cedo possível;
- g) Antes da cura, usar nebulização contínua de água;
- h) Proteger a superfície do concreto da ação do vento e dos raios solares.

A cura é um processo vital na concretagem de pisos de concreto ou qualquer outro elemento estrutural, pois auxilia a hidratação do cimento, impedindo a evaporação da água utilizada no seu amassamento, garantindo

resistência e durabilidade dos pisos de concreto, para que a estrutura atenda as especificações do projeto. É necessário considerar vários fatores na execução do piso de concreto, como a realização da cura, o espaçamento da armadura, a estanqueidade das fôrmas, entre outros que são fundamentais para a garantia das características de resistência e durabilidade.

As altas temperaturas e a baixa umidade do ar são os principais fatores climáticos que influenciam diretamente na obtenção de uma cura eficiente.

Acreditamos que adotar todas essas providências contribuem para diminuir a fissuração em pisos de concreto, porém, é improvável que todas sejam cumpridas rigorosamente e seguidas com o intuito de prevenir as manifestações patológicas em geral.

Chegamos a muitas opções do aparecimento das manifestações patológicas em geral, devido a muitos erros de execuções em todas as etapas do projeto, sendo impossível afirmar com clareza qual das etapas do projeto foi a principal causadora do surgimento das fissuras, embora com grande levantamento de todas as informações que contribuem com a manifestações patológicas.

3.2. RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Para trabalho futuros, em função do assunto não ter se esgotado, faz-se as seguintes recomendações:

- a) Pesquisar a substituição do agregado graúdo (brita) por um “agregado” de resíduo de borracha para tentar minimizar o efeito da fissuração nos pisos industriais;
- b) Realizar estudos e projetos onde as camadas de base e sub-base tenham capacidade de suporte maior para que a espessura do pavimento de concreto seja mais delgada;

- c) Estudar procedimentos de concretagem onde o concreto não tenha diminuição de resistência em função de mão de obra não qualificada;
- d) Estudar métodos para proteção da concretagem: da temperatura ambiente, temperatura do concreto, umidade relativa e vento, pois estes são os principais responsáveis das manifestações patológicas no pavimento de concreto, bem como a dosagem racional do concreto;
- e) Usar o *check list* elaborado (anexo) para a execução de pisos de concreto.

4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABCP – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Velocidade de Exsudação em Amostras de Cimento**. Relatório 13114. São Paulo, 1999.

ABCP – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Inspeção e Diagnóstico do Concreto Aplicado em Lajes de Edifícios Residenciais**. Relatório 25114. São Paulo, 2003.

ABECE – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENGENHARIA E CONSULTORIA ESTRUTURAL. **Pisos de concreto das garagens em subsolos de edifícios**. Encontro Mensal ABECE. Disponível em: <<http://slideplayer.com.br/slide/3136138/>>. Acesso em: 04 mai. 2017.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118 – Projeto de Estruturas de Concreto**. Rio de Janeiro, 2003.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7207 – Terminologia e classificação de pavimentação**. Rio de Janeiro, 1982.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11768 – Aditivos químicos para concreto de cimento Portland – Requisitos**. Rio de Janeiro, 2011.

ACI – AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. **Guide for Concrete Floor and Slab Construction (ACI 302. 1R-04)**. Michigan, 1996.

ACI - AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. **Estimating Evaporation Rates to Prevent Plastic Shrinkage Cracking. Concrete Q&A**. Concrete Internacional. 2007.

AEAJS - ASSOCIAÇÃO DOS ENGENHEIROS E ARQUITETOS DE JARAGUÁ DO SUL. **Piso Protendido**. Disponível em: <<http://aeajs.blogspot.com.br/2012/07/piso-protendido.html>>. Acesso em: 03/07/2017.

ANAPRE – ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE PISOS E REVESTIMENTOS DE ALTO DESEMPENHO. **Boletins técnicos 1 a 24**. ANAPRE, 2006-2010. Disponível em: <<http://www.anapre.org.br>>. Acesso em 20 ago. 2016.

ANAPRE – ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE PISOS E REVESTIMENTOS DE ALTO DESEMPENHO. **Mídia Institucional 2009**. Disponível em:

<http://www.anapre.org.br/cd2009/anapre_final.html>. Acesso em: 05 ago. 2016. (CD-ROM).

AQUARIUS TECH. **Laser Screed**. Disponível em: <<http://www.aquariustech.net/LaserScreed.html>>. Acesso em: 03/07/2017.

BALBO, J. T. **Pavimentos Viários e Pisos Industriais**. In: ISAIA, G. C. (Ed.). **Concreto: Ensino, Pesquisa e Realizações**. São Paulo: IBRACON, 2005. vol. 2 cap. 42, p. 1297-1332.

CÁNOVAS, M. F. **Patologia e terapia do concreto armado**. 1 Ed. São Paulo: Pini, 1988. 522p.

CHODOUNSKY, M. A. **Patologias em Pisos Industriais**. São Paulo, 2010.

CHODOUNSKY, M. A. **Pisos industriais de concreto: aspectos teóricos e construtivos**. São Paulo: Reggenza, 2007.

CRISTELLI, R. **Pavimentos industriais de concreto – Análise do sistema construtivo**. 161 f. Monografia (Especialização) – Curso de Especialização em Construção Civil, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2010.

DNIT – DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **DNIT 055/2004 – ME**. Pavimento rígido – Prova de carga estática para determinação do coeficiente de recalque de subleito e sub-base em projeto e avaliação de pavimento. Rio de Janeiro, 2004. 6 p.

DNIT – DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **DNIT 061/2004 – TER**. Pavimento rígido – Defeitos – Terminologia. Rio de Janeiro, DNIT, 2004. 13p.

ENGENHARIA CONCRETA. **Fibra para concreto: Principais tipos de fibras e utilização**. Disponível em: <<http://engenhariaconcreta.com/fibra-para-concreto-principais-tipos-de-fibras-e-utilizacao/>>. Acesso em: 03/07/2017.

FILHO, A. C.; CARMONA, T. G. **Boletim Técnico 03 - Fissuração nas estruturas de concreto**. México: ALCONPAT, 2013.

GIL, A. C. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 5ª ed. São Paulo: Atlas, 1999.

GRANATO, J. E. **Patologia das construções**. São Paulo, 2014.

HELENE, P. **Vida Útil das Estruturas de Concreto**. In: Congresso Ibero Americano de Patologia das Construções, 4, Congresso de Controle da Qualidade, 6, 1997, Porto Alegre. Proceedings... Porto Alegre: CON PAT-97, 1997. v. 1, p. 1-30.

HIRAICHI, A. R. *et al.* **Recuperação em estrutura de concreto armado**. 118 f. Trabalho de Conclusão de Curso – Curso de Engenharia Civil, Universidade Paulista, Ribeirão Preto, 2017.

KOSMATKA, S.H. *et al.* **Design and Control of Concrete Mixtures, Engineering Bulletin 001**. 14^a Ed, Skokie, Portland Cement Association, 2002. p. 236.

LERCH, W. **Hot Cement and Hot Weather Concrete Tests**. IS015, Portland Cement Association, Skokie, Illinois, 1955.

LPE ENGENHARIA. **Fissuras tipo “couro de jacaré”: é de fato um problema?** Disponível em: <<http://lpe.tempsite.ws/blog/index.php/fissuras-tipo-couro-de-jacare-e-de-fato-um-problema/>>. Acesso em: 03/07/2017.

METHA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto – Microestrutura, propriedades e materiais**. 3^a ed. São Paulo: IBRACON, 2008.

NAKAMURA, J. **Diferentes concretos para pisos industriais**. Revista Técnica PINI 144^a ed., São Paulo, 2009. Disponível em: <<http://www.revistatechne.com.br/engenharia-civil/145/artigo131689-1.asp>>. Acesso em: 08 out. 2016.

PACHECO, J, HELENE, P. **Perguntas técnicas**. Revista Concreto & Construções IBRACON. Edição 85. São Paulo, 2017.

PETRUCCI, E. G. R. **Concreto de Cimento Portland**. 1 Ed. São Paulo: ABCP, 1968.

PIANCASTELLI, E. M. **Patologia, Recuperação e Reforço de Estruturas de Concreto Armado**. Apostila para Curso de Extensão, Ed. Depto. Estruturas da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 1997.

RODRIGUES, P. P. F., BOTACINI, S. S. M., GASPARETTO, W. E. **Manual Gerdau de pisos industriais**. Ed. PINI, 1^a ed., São Paulo 2006. 109p.

RODRIGUES, P. P. F.; CASSARO, C. F. **Pisos Industriais de Concreto Armado**. 88p. Instituto Brasileiro de Telas Soldadas – IBTS. São Paulo, 1998.

RODRIGUES, P. P. F.; FARIA, B. M.; SILVA, J. B. R. **Pavimentos Industriais de Concreto Armado**. 124p. Instituto Brasileiro de Telas Soldadas – IBTS. São Paulo, 2015.

RODRIGUES, P. P. F.; LIGÓRIO, P. E. C. **Argamassa de Alta Resistência Mecânica para Revestimento de Pisos: Necessidade de Normalização**. In: Anais do IBRACON – Instituto Brasileiro do Concreto, São Paulo, 1985.

ROMERO, J. R. H. **Durabilidade do concreto**. Universidade Paulista - UNIP. Ribeirão Preto, 2016.

ROMERO, J. R. H. **Efeitos da temperatura no concreto**. Neomix Concreto. Ribeirão Preto, 2017.

ROMERO, J. R. H. **Patologia do concreto (trincas/fissuras)**. Universidade Paulista - UNIP. Ribeirão Preto, 2016.

ROMERO, J. R. H; ZANATO, J. M. B.; ROSSI, C. D. R. **Boletim Técnico – Correção do slump em obra**. Neomix Concreto. Ribeirão Preto, 2012.

SILVA, C.O., BATTAGIN, A. F. **Impacto da temperatura do cimento na temperatura do concreto e medidas para prevenir a retração plástica**. Revista Técnica PINI. Edição 183. São Paulo, 2011. Disponível em:<<http://techne.pini.com.br/engenharia-civil/183/artigo286922-1.aspx>>. Acesso em: 04 mai. 2017.

SCHMID, M. T. **Pavimentos Rígidos em Concreto Protendido**. São Paulo, 1997.

SOARES, S. **Química Aplicada à Construção**. Grupo IDD. São Paulo, 2017.

SOUZA, M. L. **Pavimentação rodoviária**. 2. ed. Rio de Janeiro: LTC Editora, 1980.

TECNICA ENGENHARIA ESPECIALIZADA. **Pisos de concreto**. Disponível em: <<http://www.tecnicaengenharia.com.br/servicos/9/pisos-industriais>>. Acesso em: 03/07/2017.

5. ANEXO

5.1. CHECK LIST PARA EXECUÇÃO DE PISOS DE CONCRETO

1. SONDAGEM (SPT)	
Nível do lençol freático	Data ____/____/____ ____m
Classificação do solo (<i>Highway Research Board – HRB</i>)	☐ A-1-a ☐ A-1-b ☐ A-2-4 ☐ A-2-5 ☐ A-2-6 ☐ A-2-7 ☐ A-3 ☐ A-4 ☐ A-5 ☐ A-6 ☐ A-7-5 ☐ A-7-6
Capacidade de carga	_____ kgf/cm ²
Coeficiente de recalque (k)	_____ kgf/cm ² /cm
Índice de Suporte Califórnia (CBR)	_____ %
2. PROJETO ESTRUTURAL/EXECUTIVO	
Necessidade de reforço do subleito?	☐ Sim ☐ Não
Sub-base	☐ Brita graduada simples (BGS)

	☐ Brita graduada tratada com cimento (BGTC) ☐ Solo cimento (SC) ☐ Solo melhorado com cimento (SMC) ☐ Concreto rolado (CR)
Área coberta com lona plástica?	☐ Sim ☐ Não
A lona plástica ultrapassa os limites das fôrmas?	☐ Sim ☐ Não
Agressividade ambiental	☐ I - Fraca (ambiente rural ou submerso) ☐ II - Moderada (ambiente urbano) ☐ III - Forte (ambiente marinho ou industrial) ☐ IV - Muito forte (ambiente industrial ou com respingos de maré)
Tipo de pavimento de concreto	☐ Concreto simples, sem armaduras ☐ Concreto armado ☐ Concreto com adição de fibras metálicas ☐ Concreto com adição de fibras sintéticas ☐ Concreto protendido

Espessura	_____cm
Resistência à compressão	_____MPa
Resistência à tração na flexão	_____MPa
Concreto utilizado	☐ Convencional ☐ Bombeável
Traço e relação a/c	____:____:____:____ _____
Cimento utilizado	☐ CP I ☐ CP II ☐ CP III ☐ CP IV ☐ CP V
Adições	_____ - _____%
Consumo de cimento	_____kg/m ³
Agregado graúdo	☐ Brita 0 - _____% ☐ Brita 1 - _____% ☐ Brita 2 - _____%
Reatividade álcali-agregado	☐ Potencialmente reativo ☐ Potencialmente inócuo
Diâmetro máximo do agregado graúdo	_____mm
Agregado miúdo	☐ Areia fina - _____% ☐ Areia média - _____% ☐ Areia grossa - _____%
Teor de ar incorporado	_____%

Aditivo utilizado	_____
Teor de aditivo	_____%
Adição de fibras	☐ Metálicas - _____% ☐ Sintéticas - _____% ☐ Não utilizada
Recobrimento mínimo da armadura (conforme agressividade ambiental)	☐ 20mm ☐ 25mm ☐ 35mm ☐ 45mm
Tipo de armadura	☐ Superior ☐ Inferior ☐ Superior e inferior
Tipo de tela soldada	_____
Recobrimento da tela soldada	☐ ≤ 5 cm ☐ > 5 cm
Projeto de juntas	☐ Sim ☐ Não
3. EXECUÇÃO	
Mapa de concretagem (croquis)	☐ Previsto ☐ Realizado
Temperatura ambiente	_____°C
Umidade relativa do ar	_____%
Velocidade do vento	_____km/h

Piso protegido de intempéries?	☐ Sim ☐ Não
Data de concretagem	___/___/_____
Horário do início do lançamento	___:___
Horário do fim do lançamento	___:___
Temperatura do concreto	_____°C
Resultado <i>slump test</i>	_____mm
Adensamento	☐ Vibrador de imersão ☐ Régua vibratória ☐ <i>Laser Screed</i>
Sistema utilizado para acabamento superficial	☐ Úmido-sobre-úmido ☐ Úmido-sobre-seco
Horário do início do acabamento	___:___
Horário do fim do acabamento	___:___
Equipamentos utilizados	☐ Régua vibratória ☐ Régua de alumínio ☐ Rodo de corte ☐ <i>Bull-float</i> ☐ Acabadora de superfície simples ☐ Acabadora de superfície dupla

Planicidade e nivelamento (Sistema <i>F-Numbers</i>)	☐ Sim ☐ Não
Líquido endurecedor de superfície	☐ Sim ☐ Não
Aspersão mineral e metálica	☐ Sim ☐ Não
Tipo de cura	☐ Úmida ☐ Térmica ☐ Química
Período de cura	_____ dias
Juntas de construção	☐ Sim ☐ Não
Juntas serradas	☐ Sim ☐ Não
Juntas de expansão	☐ Sim ☐ Não
Barras de transferência	☐ Sim ☐ Não
O alinhamento das juntas de construção varia mais do que 10 mm ao longo de 3 m?	☐ Sim ☐ Não
A profundidade do corte das juntas serradas varia mais do que 5 mm com relação à profundidade de projeto?	☐ Sim ☐ Não
As barras de transferência estão posicionadas de modo que o desvio máximo com relação ao espaçamento de projeto é inferior a 25 mm?	☐ Sim ☐ Não
Selagem de juntas	☐ Poliuretano

	☐ Silicone ☐ Acrílicos ☐ Epóxi modificado com uretano ☐ Polissulfeto ☐ Poliuretano modificado com asfalto
Revestimento de alto desempenho (RAD)	☐ Sim ☐ Não
Espessura do RAD	_____mm
Tipo de RAD	☐ Cimentício ☐ Polimérico